

**SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI SUSU DENGAN  
ANALISIS PERPINDAHAN PANAS *FINITE DIFFERENCE METHOD***

**SKRIPSI**

Oleh:  
**AININA FARAH FAUZIAH**  
**NIM. 16640058**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI SUSU DENGAN  
ANALISIS PERPINDAHAN PANAS *FINITE DIFFERENCE METHOD***

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
Ainina Farah Fauziah  
NIM. 16640058**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

## HALAMAN PERSETUJUAN

SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI SUSU DENGAN  
ANALISIS PERPINDAHAN PANAS *FINITE DIFFERENCE METHOD*

SKRIPSI

Oleh:

Ainina Farah Fauziah  
NIM. 16640058

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
Pada tanggal 3 Mei 2021

Pembimbing I



Farid Samso Hananto, M.T.  
NIP. 19740513 200312 1 001

Pembimbing II



Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003



Mengesahkan,  
Kepada Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003




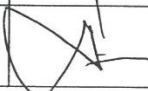
## HALAMAN PENGESAHAN

SIMULASI WAKTU MAKSIMUM DISTRIBUSI SUSU DENGAN  
ANALISIS PERPINDAHAN PANAS *FINITE DIFFERENCE METHOD*

## SKRIPSI

Oleh:  
Ainina Farah Fauziah  
NIM. 16640058

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si),  
Pada tanggal 10 Juni 2021

Penguji Utama :	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si.</u> NIP. 19740730 200312 1 002	
Ketua Penguji :	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si.</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji :	<u>Farid Samsu Hananto, M.T.</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	



Mengesahkan,  
Dekan, Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ainina Farah Fauziah  
NIM : 16640058  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Susu Dengan  
Analisis Perpindahan Panas *Finite Difference Method*

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 10 Juni 2021  
Yang Membuat Pernyataan,

  
Ainina Farah Fauziah  
NIM. 16640058

## MOTTO

“Ketika kamu belajar dan kamu lelah, yang kamu butuhkan adalah istirahat sejenak, bukan berhenti. Konsisten, fokus dan jangan pernah menyerah dengan apa yang kamu yakini”.

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ آمَنُوا اسْتَعِينُوا بِالصَّبْرِ وَالصَّلَاةِ إِنَّ اللَّهَ مَعَ الصَّابِرِينَ

*“Wahai orang-orang yang beriman! Mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan salat. Sungguh, Allah beserta orang-orang yang sabar” (Q.S Al-Baqarah:153).*

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya, Bapak Hariyanto dan Ibu Yuana yang tak pernah berhenti mendokan untuk kesuksesan putrinya dan selalu mendukung setiap langkah yang saya ambil.
2. Kakak-kakak dan adik saya yang selalu tidak henti-hentinya menasehati saya dalam hal kebaikan.
3. Bapak Pembimbing, Bapak Farid Samsu, Bapak Abdul Basid dan Bapak Khusnul Yakin yang telah sabar membimbing saya dalam penulisan Skripsi
4. Bapak dan Ibu guru/Dosen yang telah memberikan saya banyak ilmu.
5. Calon suami dan calon anak-anak saya kelak yang memberikan semangat saya untuk segera menyelesaikan kuliah.
6. Ketiga sahabat saya Faridatul Muniroh (yu kaji), Adilah Istiqomah, dan Nurul Hasanah (emak) yang selama ini mendampingi dan menjadi teman baik saya dalam hal apapun.
7. Keluarga besar serta teman-teman fisika Angkatan 2016 yang telah mendukung, membantu, dan mendoakan.
8. Semua pihak yang membantu dalam penulisan skripsi ini.

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat, karunia, dan hidayah-Nya kami dapat menyelesaikan Skripsi ini. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada junjungan besar kita, yaitu Nabi Muhammad SAW beserta para keluarga, sahabat dan pengikut-pengikutnya. Proposal Skripsi ini dengan judul “Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Susu Dengan Analisis Perpindahan Panas *Finite Difference Method*”. Tujuan dari penyusunan Proposal Skripsi ini adalah merupakan salah satu syarat dalam melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains di Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Selanjutnya penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Bapak Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Farid Samsu Hananto, S.Si.,M.T. selaku dosen pembimbing I Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Bapak Khusnul Yakin, M.Si., selaku dosen pembimbing II Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Ayah, Ibu, Kakak, Adik, dan keluarga tercinta yang selalu mendukung dan memberikan kepercayaan kepada saya, serta memberikan limpahan kasih sayangnya kepada saya.
7. Teman-teman Fisika angkatan 2016 yang selalu membantu dan memotivasi saya dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini.

Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga masih terdapat banyak kekurangan atau kesalahan baik dari segi penulisan maupun dari segi isinya. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati akan menerima kritik dan saran yang bersifat



membangun Skripsi. Sebagai akhir kata, penulis berharap semoga dengan adanya Skripsi ini dapat memberi manfaat bagi pembaca. Sehingga menjadi karya tulis yang baik dan bermanfaat, dapat digunakan di masa yang akan datang.

Malang, 10 Juni 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGAJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>	<b>v</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Proses Pengolahan dan Pengemasan Susu Sapi .....	7
2.2 Perpindahan Panas .....	10
2.2.1 Konduksi .....	11
2.2.2 Konveksi .....	12
2.2.3 Radiasi .....	12
2.3 Hukum Fourier pada Perpindahan Panas .....	13
2.4 Persamaan Panas Pada Silinder .....	14
2.5 Persamaan Diferensial Parsial .....	15
2.6 Metode <i>Finite Difference</i> .....	16
2.7 Skema <i>Finite Difference</i> .....	17
2.7.1 Skema Eksplisit .....	17
2.7.2 Skema Implisit .....	18
2.7.3 Skema Crank-Nicolson .....	18
2.8 Susu Sapi dalam Perspektif Islam .....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Jenis Penelitian .....	22
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	22
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.4 Diagram Alir .....	24
3.4.1 Pengambilan Data dengan Eksperimen .....	25
3.4.2 Simulasi dengan <i>Software</i> MATLAB .....	26
3.5 Prosedur Penelitian .....	27
3.5.1 Eksperimen .....	27
3.5.2 Simulasi dengan <i>Software</i> MATLAB .....	30
3.5.3 Implementasi MAPE dan RMSE .....	32

3.5.4 Analisis Hasil.....	33
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pemodelan Matematik .....	34
4.2 Hasil dan Analisa Data Simulasi Menggunakan <i>Software</i> MATLAB dengan Eksperimen.....	41
4.4 Hasil dan Pembahasan .....	52
4.5 Integrasi Menurut Al-Qur'an dan Hadist.....	55
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	24
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengambilan Data dengan Eksperimen .....	25
Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi dengan <i>Software</i> MATLAB.....	26
Gambar 3.5 Sketsa Eksperimen .....	28
Gambar 4.1 Koordinat Tabung .....	36
Gambar 4.2 Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit .....	43
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol PET dengan Suhu Lingkungan 30°C .....	44
Gambar 4.4 Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit .....	47
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu Lingkungan 30°C .....	48
Gambar 4.6 Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit .....	50
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu Lingkungan 30°C .....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengukuran dengan Suhu 27°C .....	28
Tabel 3.2 Pengukuran dengan Suhu 30°C .....	29
Tabel 3.3 Pengukuran dengan Suhu 33°C .....	29
Tabel 3.4 Nilai Fisik dari Masing-masing Kemasan.....	31
Tabel 3.5 Nilai Geometri dari masing-masing Kemasan .....	31
Tabel 4.1 Waktu yang Dibutuhkan Susu Untuk Mencapai Temperatur Parameter Hasil Eksperimen dan Simulasi.....	41

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Data Hasil Penelitian
- Lampiran 2. Nilai hasil RMSE dan MAPE
- Lampiran 3. Gambar Hasil Persebaran Panas pada Simulasi
- Lampiran 4. Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab

## ABSTRAK

Fauziah, Ainina Farah. 2021. **Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Susu Dengan Analisis Perpindahan Panas *Finite Difference Method***. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

---

**Kata Kunci:** Perpindahan Panas, Metode *Finite Difference Approximation* (FDA), Suhu, Susu Pasteurisasi.

Kualitas dari sebuah produk pangan dapat dipengaruhi oleh suhu lingkungan selama distribusi berlangsung. Bahan kemasan dapat membantu untuk melindungi produk dari variasi suhu lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran suhu didalam kemasan susu pasteurisasi sehingga akan didapatkan material kemasan yang terbaik serta mengetahui estimasi waktu yang tepat susu pasteurisasi mengalami penurunan kualitas selama distribusi berlangsung pada kondisi suhu ruang. Salah satu bentuk penyelesaian numerik pada simulasi perpindahan panas yaitu dengan metode *Finite Difference Approximation* (FDA), dari simulasi tersebut dapat diketahui persebaran suhu didalam kemasan susu dengan memvariasikan material kemasan dan suhu lingkungan pada saat distribusi. Efektivitas dari hasil penelitian secara numerik kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian eksperimen yang telah dilakukan. Penentuan kualitas dari susu pasteurisasi dapat dilakukan menggunakan parameter kenaikan suhu dan penurunan pH. Hasil penelitian menunjukkan, botol susu dengan bahan HDPE mengalami perpindahan panas cenderung lebih lambat daripada kemasan yang lain dengan ukuran diameter 6 cm dan tinggi 12 cm, botol HDPE memiliki Densitas yang rendah ( $940 \text{ kg/m}^3$ ) dan kalor jenis yang tinggi ( $1900 \text{ J/Kg K}$ ) daripada kemasan yang lain. Rata-rata estimasi kualitas susu pasteurisasi pada kondisi suhu lingkungan  $27^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ , dan  $33^\circ\text{C}$  mengalami penurunan kualitas dengan parameter penurunan pH kurang dari 180 menit.

## ABSTRACT

Fauziah, Ainina Farah. 2021. **The Maximum Time of Milk Distribution with Heat Transfer Analysis Using Finite Difference Method.** Thesis. Department of Physics, Faculty of Science of Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Advisors: (I) Farid Samsu Hananto, M.T. (II) Drs. Abdul Basid, M.Si.

---

**Keywords:** Heat Transfer, *Finite Difference Approximation* (FDA) Method, Temperature, Pasteurized Milk.

The quality of a food product can be affected by the ambient temperature during distribution. Packaging materials can help to protect products from environmental temperature variations. This research aims to determine the temperature distribution in the packaging of pasteurized milk, so that, the best packaging material will be obtained. On the other hand, this research is also to know the exact time estimate for pasteurized milk to experience a decrease in quality during distribution at room temperature conditions. One form of numerical solution in heat transfer simulation is the Finite Difference Approximation (FDA) method. From the simulation, it can be seen the temperature distribution inside the milk packaging by varying the packaging material and the ambient temperature at the time of distribution. The effectiveness of the research results numerically is then compared with the results of experimental research that has been carried out. Furthermore, the determination of the quality of pasteurized milk can be done using the parameters of increasing temperature and decreasing pH. The results showed that milk bottles with HDPE material tended to transfer heat more slowly than other packages with a diameter of 6 cm and a height of 12 cm, HDPE bottles had a low density ( $940 \text{ kg/m}^3$ ) and a high specific heat ( $1900 \text{ J/Kg K}$ ) than other packages. The average estimated quality of pasteurized milk at ambient temperature conditions of  $27^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ , and  $33^\circ\text{C}$  experienced a decrease in quality with a pH decrease parameter of less than 180 minutes.



## الملخص

فوزية, عيننا فرح. 2021. محاكاة الوقت الأقصى لتوزيع الحليب بتحليل انتقال الحرارة بطريقة الفروق المحدودة. البحث العلمي. قسم الفيزياء. كلية العلوم و التكنولوجيا. جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج, المشرف: (I) فرد شمس هاننطا الماجستر. (II) الدكتور عبد الباسط الماجستر.

الكلمات المفتاحيات : انتقال الحرارة, طريقة الفروق المحدودة (FDA), درجة الحرارة, حليب مبستر

يمكن أن تتأثر جودة المنتج الغذائي بدرجة الحرارة المحيطة أثناء التوزيع. يمكن أن تساعد مواد التغليف في حماية المنتجات من التغيرات البيئية في درجات الحرارة. يهدف هذا البحث إلى تحديد توزيع درجة الحرارة في عبوات الحليب المبستر بحيث يتم الحصول على أفضل مواد التعبئة والتغليف ومعرفة تقدير الوقت الدقيق للحليب المبستر لتجربة انخفاض في الجودة أثناء التوزيع في ظروف درجة حرارة الغرفة. إحدى طرق الحل العددي لمحاكاة نقل الحرارة هي طريقة تقريب الفروق المحدودة (FDA). من خلال المحاكاة ، يمكن ملاحظة توزيع درجة الحرارة داخل عبوة الحليب من خلال تغيير مادة التعبئة ودرجة الحرارة المحيطة في وقت التوزيع. ثم يتم مقارنة فعالية نتائج البحث عدديًا بنتائج البحث التجريبي الذي تم إجراؤه. يمكن تحديد جودة الحليب المبستر باستخدام معايير زيادة درجة الحرارة وخفض الرقم الهيدروجيني. أظهرت النتائج أن عبوات الحليب التي تحتوي على مادة البولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) تميل إلى نقل الحرارة بشكل أبطأ من العبوات الأخرى التي يبلغ قطرها 6 سم وارتفاعها 12 سم ، وكانت عبوات بولي إيثيلين عالي الكثافة (HDPE) ذات كثافة منخفضة (940 كجم / م<sup>3</sup>) ودرجة حرارة نوعية عالية (1900 J / Kg K) من العبوات الأخرى. شهد متوسط الجودة المقدرة للحليب المبستر في ظروف درجة حرارة محيطية تبلغ 27 درجة مئوية و 30 درجة مئوية و 33 درجة مئوية انخفاضًا في الجودة مع معامل انخفاض الرقم الهيدروجيني أقل من 180 دقيقة.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Susu merupakan sumber protein hewani yang dibutuhkan dalam pertumbuhan dan perkembangan tubuh serta dalam menjaga kesehatan. Susu disebut sebagai makanan yang hampir sempurna karena kandungan zat gizi yang lengkap. Karakteristik susu yang baik yaitu memiliki warna putih kekuningan dan tidak tembus cahaya. Komposisi rata-rata susu sapi mengandung 3,3% protein; 3,8% lemak; 4,7% karbohidrat; 8,76% air; 0,7% vitamin; dan mineral (Cahyaningtyas, dkk, 2016).

Susu merupakan salah satu sumber gizi yang baik bagi manusia. Hal tersebut tertuang dalam Surah al-Mu'minun ayat 21 menjelaskan:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۖ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ

*Yang artinya adalah dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian daripadanya kamu makan (QS.Al-Mu'minun: 21).*

Menurut Tafsir Ibnu Katsir dalam ayat diatas menjelaskan Allah Ta'ala menyebutkan bahwa apa yang telah diciptakan bagi makhluk-Nya pada binatang ternak terdapat berbagai manfaat, di mana mereka dapat meminum dari susu-susunya yang keluar dari saluran antara tempat kotoran dan saluran darah. Ayat tersebut menjelaskan bahwa susu mempunyai pelajaran bagi semua manusia, hewan ternak yang mempunyai manfaat berupa susu yang menjadi makanan bergizi bagi manusia dalam kehidupannya.

Usaha peternakan sapi perah di Indonesia terus-menerus mengalami perkembangan dari tahun ketahun. Perkembangan ini salah satunya disebabkan oleh meningkatnya permintaan susu sebagai akibat meningkatnya jumlah penduduk dan kesadaran masyarakat terhadap gizi seimbang akan pangan sumber protein hewani. Sebagian besar produksi susu sapi di Indonesia dihasilkan di Pulau Jawa. Menurut pusat data dan sistem informasi pertanian menunjukkan provinsi penghasil susu terbesar berasal dari Jawa Timur. Pada tahun 2012-2016 rata-rata produksi susu sapi perah di Jawa Timur sebesar 475,12 ribu ton atau sebesar 55,50% dari produksi nasional.

Salah satu pengolahan susu yang digunakan untuk mempertahankan kondisi susu agar tetap terjaga kualitasnya adalah dengan cara pasteurisasi. Pasteurisasi merupakan salah satu tindakan yang dapat dilakukan untuk mematikan bakteri patogen dengan cara pemanasan. Namun, melalui pasteurisasi bakteri yang berspora masih bertahan hidup. Pasteurisasi tidak mengubah komposisi susu sehingga komposisi masih setara susu segar (Suwito, 2010). Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 01-3951-1195) ada dua macam cara pada proses pasteurisasi, antara lain pasteurisasi dengan waktu yang lama (LTLT: *Low Temperature Long Time*) dengan suhu 62°C sampai dengan 65°C selama 30 menit dan pasteurisasi sekejap (HTST: *High Temperature Short Time*) dengan suhu 85°C sampai dengan 95°C selama 1 menit (Saleh, 2004).

Proses yang dilalui susu murni menjadi susu olahan harus sangat diperhatikan, karena susu merupakan bahan higienis yang memiliki gizi tinggi dan apabila berada diluar dengan kondisi tidak didinginkan dalam jangka waktu yang lama akan menjadikan kualitas susu menurun. Susu sebaiknya disimpan dalam suhu

yang dingin atau suhu rendah dengan batas maksimum yaitu 3°C sampai 4°C, agar terjaga kualitasnya, karena apabila dibiarkan susu akan berangsur-angsur menjadi rusak. Sutrisno dkk, (2015) dalam jurnalnya menyatakan bahwa suhu rendah yang tepat untuk pengangkutan susu segar adalah 10°C untuk masing masing waktu pengangkutan susu segar yaitu 30, 60, dan 90 menit.

Salah satu faktor penurunan kualitas susu sapi dapat diakibatkan ketika distribusi. Selama distribusi berlangsung susu sapi terkena kondisi lingkungan. Kesulitan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh perusahaan selama operasional pada suhu tertentu dengan harapan kualitas dan mutu tetap terjamin merupakan permasalahan yang terjadi di bidang industri. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pengendalian waktu selama operasional yaitu jenis bahan yang digunakan. Dengan mengurangi perpindahan panas (*heat transfer*) dari lingkungan luar produk, jenis bahan kemasan dapat membantu untuk melindungi produk dari variasi suhu ketika distribusi berlangsung. Pada umumnya produk susu yang dijual dipasaran menggunakan kemasan botol plastik, tetra pak, dan lain-lain.

Perpindahan kalor adalah bentuk kalor yang dapat berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Sedangkan kalor merupakan suatu bentuk energi atau dapat juga didefinisikan sebagai jumlah panas yang ada dalam suatu benda.

Tingkat perpindahan panas pada distribusi sangat perlu diketahui untuk mengetahui estimasi waktu dan kemasan yang tepat pada suatu produk dari produsen hingga sampai ke konsumen. Apabila dilakukan sebuah eksperimen diketahui untuk mengetahui estimasi waktu dan kemasan pada suatu produk maka diperlukan banyak biaya dan waktu untuk menyesuaikan suhu lingkungan dengan

cuaca yang berubah-ubah. Berdasarkan permasalahan yang terjadi di bidang industri beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang simulasi perpindahan panas dengan metode komputasi.

Iridiati (2013) telah mengkaji simulasi model perpindahan panas pada proses sterilisasi pengalengan ikan tuna dengan beberapa parameter. Parameter tersebut meliputi bahan kaleng yang digunakan, jari-jari kaleng, dan temperatur penyeteril. Namun dalam penelitian ini hanya melakukan simulasi dengan metode komputasinya saja dan tidak menggunakan eksperimen. Abbasnezhad, et. Al (2016) juga telah mengkaji simulasi perpindahan panas dengan menggunakan metode finite elemen. Model yang dikonfirmasi dengan membandingkan hasil eksperimen dan numerik, mampu memprediksi profil suhu pemanasan paling lambat, dan waktu pemanasan yang diperlukan selama pasteurisasi telur. Cevoli dan Fabbri, (2017) telah mengkaji simulasi perpindahan panas dengan metode finite element pada salad buah segar dalam kondisi non-didinginkan. Dalam penelitian ini, menjelaskan bagaimana perpindahan panas di dalam wadah yang berisi salad buah dan sirup, dengan memvariasikan bahan (udara dan EPS), geometri dan dimensi kemasan dan suhu. Namun dalam penelitian ini, variasi suhu yang digunakan tidak sesuai dengan keadaan suhu yang ada di Indonesia.

Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti akan melakukan penelitian tentang simulasi waktu maksimum distribusi susu pasteurisasi dengan analisis perpindahan panas metode *Finite Difference Approximation* (FDA), dari simulasi tersebut dapat diketahui persebaran suhu didalam kemasan susu dengan memvariasikan material kemasan dan suhu lingkungan pada saat distribusi. Sehingga, kita dapat mengetahui estimasi waktu maksimum dari industri susu ke konsumen.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana persebaran suhu pada susu sapi dengan variasi material kemasan?
2. Bagaimana persebaran suhu pada susu sapi dengan variasi suhu lingkungan?
3. Berapa waktu yang dibutuhkan kemasan susu sapi sampai mencapai suhu ambient dari susu sapi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui persebaran suhu pada susu sapi dengan variasi material kemasan.
2. Untuk mengetahui persebaran suhu pada susu sapi dengan variasi suhu lingkungan.
3. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan kemasan susu sapi sampai mencapai suhu ambient dari susu sapi.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dalam penelitian ini adalah diharapkan mendapatkan estimasi waktu yang pasti dari industri susu sapi sampai ke konsumen dengan perubahan suhu lingkungan dan material kemasan.

## **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel yang digunakan yaitu susu sapi pasteurisasi dari KUD Kota Batu.
2. Variasi kemasan yang digunakan yaitu botol kaca, botol plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan botol plastik *Polyethylene Therephthalate* (PET).

3. Variasi suhu yang digunakan sebesar 27°C, 30°C dan 33°C.
4. Metode yang digunakan dalam simulasi yaitu metode *finite difference approximation* (FDA).
5. Suhu panas dari bagian atas kemasan diabaikan.
6. Jenis dari masing-masing kemasan dianggap sama.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Proses Pengolahan dan Pengemasan Susu Sapi**

Susu merupakan bahan makanan yang bernilai gizi tinggi yang diperoleh dari hasil pemerahan hewan seperti sapi, kerbau, kuda, kambing dan unta. Susu sapi perah adalah salah satu bahan pangan sumber protein yang sangat penting untuk memenuhi kebutuhan gizi masyarakat karena memiliki kandungan gizi yang tinggi dan komposisi yang lengkap antara lain lemak, laktosa, protein, mineral, vitamin dan enzim (Utomo dan Miranti, 2010). Maka tidak heran konsumsi susu sapi meningkat dari tahun ketahun akibat kesadaran masyarakat terhadap gizi seimbang akan pangan sumber hewani.

Susu sapi yang layak untuk dikonsumsi masyarakat yaitu susu yang harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Proses pengolahan susu dimulai dari pengumpulan susu oleh peternak susu perah. Peternak susu biasanya mengumpulkan susu hasil ternaknya di pengepul susu perah yang berada di desa. Pengepul susu perah menampung susu dari peternakan yang diangkut menggunakan wadah-wadah kecil (milk can) dan ditampung pada suatu wadah penampungan yang lebih besar. Kemudian susu biasanya diangkut ke penampungan susu yang lebih besar yaitu koperasi susu.

Susu yang berada di koperasi, kemudian susu disaring dan diuji kualitasnya meliputi berat jenis, uji alkohol, kadar lemak, protein, bahan kering tanpa lemak (SNF/*Solid Non Fat*) dan total bakteri (Total Plate Count/TPC). Susu yang mengandung mikroba tinggi, pada uji alkohol susu akan pecah dan nilai TPC menunjukkan angka yang tinggi. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-



3141-1998 susu segar adalah susu murni yang tidak mendapatkan perlakuan apapun kecuali proses pendinginan dan tanpa memengaruhi kemurniannya (Usmiati dan Abu, 2009).

Sebelum diangkut ke pabrik untuk diolah, susu yang telah lulus uji dikumpulkan pada alat pendingin (*Plate Cooler*) atau menggunakan air atau glycol dingin untuk mencapai suhu 4°C serta dilakukan homogenisasi. Selanjutnya susu diangkut ke industri pengolahan susu menggunakan tanki berpendingin, biasanya dilapisi chilled water jacket mengandung *ice bank* untuk mencegah kemungkinan terjadinya peningkatan suhu susu dalam transportasi.

Salah satu proses pengolahan susu agar susu aman dikonsumsi yaitu dengan cara Pasteurisasi. Pasteurisasi susu adalah pemanasan susu di bawah suhu didih untuk membunuh kuman atau bakteri patogen namun sporanya masih dapat hidup. Ada 3 cara pasteurisasi yaitu:

1. Pasteurisasi lama (*Low Temperature Long Time/LTLT*).

Pemanasan susu pada suhu yang tidak tinggi (62-65°C) dengan waktu yang relatif lama (0,5 -1 jam).

2. Pasteurisasi singkat (*High Temperature Short Time/HTST*).

Pemanasan susu dilakukan pada suhu tinggi (85-95°C) dengan waktu yang relatif singkat (1-2 menit).

3. Pasteurisasi *Ultra High Temperature* (UHT).

Pemanasan susu pada suhu tinggi dan segera didinginkan pada suhu 10°C (suhu minimal pertumbuhan bakteri susu). Pasteurisasi UHT dapat pula dilakukan dengan memanaskan susu sambil diaduk dalam suatu panci pada suhu 81°C selama  $\pm 0,5$  jam dan dengan cepat didinginkan. Pendinginan dapat

dilakukan dengan mencelupkan panci yang berisi susu ke dalam bak air dingin yang airnya mengalir terus menerus.

Selain pasteurisasi yang dilaksanakan dengan benar dan tepat, pengemasan juga merupakan salah satu cara untuk memberikan perlindungan terhadap produk agar tetap bersih dari kotoran dan pencemaran. Bahan dan cara pengemasan tersebut harus berfungsi secara efisien dan ekonomis. Menurut Syarief, dkk, (1989) kemasan mempunyai peranan penting dalam mempertahankan mutu bahan. Pengemasan ditujukan untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh mikroba, fisik, biokimia, perpindahan uap air dan gas, sinar ultraviolet dan perubahan suhu.

Berbagai jenis kemasan yang digunakan untuk mempertahankan mutu susu tetap terjaga dan memperpanjang umur simpan susu. Pada umumnya susu sapi dikemas mulai dari kemasan botol gelas, dus karton hingga kemasan dari plastik. Setiap jenis bahan kemasan memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada penelitian ini kemasan yang akan digunakan yaitu menggunakan bahan kemasan botol kaca, botol plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET).

*Polyethylene terephthalate* yang sering disebut PET. Penggunaan PET sangat luas antara lain, botol-botol untuk air mineral, soft drink, kemasan sirup, saus, selai, minyak makan. PET banyak digunakan sebagai bahan kemasan makanan karena sifat mekanisnya sangat baik, seperti jernih, tahan terhadap sinar UV, dan sebagai penghalang oksigen yang baik (Ros-Chumillas, dkk, 2007). Selain memiliki permeabilitas yang rendah terhadap oksigen, PET juga tidak bereaksi dengan bahan

kimia sehingga dapat mempertahankan nilai nutrisi dan kualitas sensoris bahan pangan cair seperti susu, soda, dan jus berkarbonasi (Park, dkk, 2008).

HDPE merupakan bahan kemasan plastik yang kaku dan tahan terhadap suhu tinggi ( $120^{\circ}\text{C}$ ), sehingga dapat digunakan untuk produk yang memerlukan pengolahan dengan pemanasan tinggi (Syarief, dkk, 1989), seperti susu pasteurisasi. Keunggulan kemasan HDPE adalah lebih kuat dibanding kemasan plastik lain, lebih tahan terhadap bahan kimia dan air, serta mudah diolah dan dibentuk. Kelemahan HDPE adalah dapat menyerap udara (Marsh dan Bugusu, 2007).

Kemasan gelas merupakan salah satu kemasan yang sering digunakan di produk susu, karena kemasan gelas mempunyai keunggulan antara lain: inert yaitu tidak bereaksi dengan bahan yang dikemas, tahan asam dan basa, dan tahan lingkungan, gelas dapat tembus pandang atau transparan atau gelap dan selama pemakaian bentuknya tetap, tidak berpengaruh terhadap bahan yang dikemas (tidak ada migrasi) dan kemasan gelas merupakan penghalang (*barrier*) yang baik terhadap uap air, air dan gas-gas lain (Sucipta, dkk, 2016)

## **2.2 Perpindahan Panas**

Kalor adalah suatu jenis energi yang dapat menimbulkan perubahan suhu pada suatu benda. Secara alami, sifat kalor yaitu berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah, sehingga terjadi pencampuran suhu dari kedua benda tersebut (Sulaiman, 2015). Sifat kalor tersebut disebut perpindahan kalor. Energi panas atau kalor dapat berpindahan dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

### 2.2.1 Konduksi

Konduksi atau hantaran adalah proses perpindahan panas apabila panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya rendah, dengan menggunakan media penghantar panas tetap. Konduksi merupakan perambatan panas tanpa disertai perpindahan zat perantara (Sulaiman, 2015).

Secara matematis konduksi panas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = \frac{-k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

Atau

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = H = -k \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

dimana:

H = jumlah panas per waktu atau arus panas (J/s)

k = konduktivitas termal bahan (watt/m°C),

A = luas permukaan dimana panas mengalir (m<sup>2</sup>), dan

dT/dx = gradien suhu pada penampang, atau laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x (°C/m).

Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair dan gas. Dalam zat cair dan gas, konduksi terjadi karena ada tumbukan dan difusi molekul-molekul selama bergerak secara acak. Dalam tumbukan antar-molekul, molekul yang berenergi lebih tinggi memberikan panas kepada molekul yang energinya lebih rendah. Sedangkan pada zat padat, konduksi terjadi karena adanya vibrasi dari molekul-molekul dalam suatu kristal zat padat, dan perpindahan energi terjadi karena elektron-elektron bebas bergerak (Suparno, 2009).

### 2.2.2 Konveksi

Konveksi merupakan salah satu bentuk perpindahan panas yang terjadi antara permukaan zat padat dengan zat cair atau gas yang mengalir disekitarnya, dengan menggunakan media penghantar zat cair atau gas. Konveksi hanya berlangsung apabila ada gaya yang bekerja pada partikel atau ada arus fluida yang dapat membuat gerakan yang melawan gaya gesekan (Sulaiman, 2015). Dasar yang digunakan untuk menentukan laju perpindahan panas dengan konveksi adalah Hukum Newton, dirumuskan sebagai berikut:

$$q = h.A.\Delta T \quad (2.2)$$

dimana:

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W/m}^2\text{°C}$ )

$\Delta T$  = perubahan atau perbedaan suhu antara suhu permukaan  $T_s$  dan suhu fluida  $T_\infty$  di lokasi yang ditentukan (biasanya jauh dari permukaan)( $^{\circ}\text{C}$ ;  $^{\circ}\text{F}$ ).

### 2.2.3 Radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melalui gelombang elektromagnet atau paket-paket energi (photon) yang dapat dibawah sampai pada jarak yang sangat jauh tanpa memerlukan interaksi dengan medium, dan jumlah energi yang dipancarkan radiasi sebanding dengan temperatur (Koestoer, 2002). Hal yang membedakan konduksi-konveksi dengan perpindahan panas radiasi yaitu perpindahan panas radiasi bergantung terhadap temperatur.

### 2.3 Hukum Fourier pada Perpindahan Panas

Hubungan dasar perpindahan panas secara konduksi mengikuti hukum Fourier. Dalam hukum Fourier pada perpindahan panas dengan cara konduksi, dalam keadaan steady, melewati dinding dengan ketebalan  $\Delta x = L$  dan luas permukaan  $A$ . Perubahan temperatur yang melalui dinding adalah  $\Delta T = T_2 - T_1$  (Cengel, 1998). Pengertian steady adalah bila laju aliran panas dalam suatu sistem tidak berubah dengan waktu, yaitu laju tersebut konstan, maka suhu di titik manapun tidak berubah (Kreith, 1997).

Rata-rata perpindahan panas  $\phi(x)$  yang melalui dinding rangkap dengan perubahan temperatur  $\Delta T$  dan luas permukaan dengan arah perpindahan panas normal, maka laju konduksi panas  $\phi(x)$  yang menembus dinding adalah dua kalinya. Atau secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\phi(x)_{\text{Total}} = \phi(x)_1 + \phi(x)_2$$

akan tetapi, laju konduksi panas  $\phi(x)$  adalah setengahnya jika ketebalan dinding  $L$  dua kalinya ( $L=2\Delta x$ ). Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\phi(x)_{\text{total}} = \frac{\phi(x)}{2}$$

selanjutnya dapat disimpulkan laju konduksi panas yang melalui permukaan secara matematis dapat dirumuskan oleh persamaan berikut:

$$\text{Laju konduksi panas} = \frac{(\text{luas daerah})(\text{perubahan temperatur})}{\text{ketebalan dinding}}$$

Atau

$$\phi \approx K \cdot A \frac{dT}{dx}$$

dimana  $K$  adalah konduktivitas termal, yang diukur dari kemampuan material untuk menghantarkan panas,  $\frac{dT}{dx}$  adalah gradien temperatur. Dalam persamaan tersebut dapat diketahui bahwa laju konduksi panas yang melalui permukaan bidang berbanding lurus linier dengan perubahan temperatur yang melewati lapisan dan daerah perpindahan panas, tetapi berbanding terbalik dengan ketebalan dinding. Dengan pendekatan  $\Delta x \rightarrow 0$ , persamaan di atas berubah menjadi:

$$\phi = -K \cdot A \frac{dT}{dx} \quad (2.3)$$

tanda negatif menyatakan bahwa panas mengalir dari suhu tinggi ke suhu rendah (Suparno, 2009).

## 2.4 Persamaan Panas Pada Silinder

Persamaan konduksi panas satu dimensi secara umum dapat dituliskan:

$$\frac{1}{r^n} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^n K \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \dot{g} = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.4)$$

dengan  $r$  adalah jari-jari,  $K$  adalah konduktivitas termal,  $C$  adalah kalor jenis bahan, dan  $\rho$  adalah massa jenis bahan. Dimana jika dinding datar  $n = 0$ , jika silinder  $n = 1$ , dan jika bola  $n = 2$  (Cengel, 1998). Pada penelitian ini, kemasan yang digunakan dianggap sebagai sebuah silinder pejal tanpa ada pembangkitan panas ( $\dot{g} = 0$ ), sehingga persamaan diatas menjadi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( K r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.5)$$

## 2.5 Persamaan Diferensial Parsial

Persamaan Diferensial Parsial (PDP) merupakan persamaan yang memiliki lebih dari satu peubah bebas. Dalam fisika dan bidang rekayasa, persamaan defarensial parsial yang sangat populer adalah persamaan defarensial parsial orde dua dengan dua variabel independen  $x$  dan  $y$ , dan biasa dituliskan dalam bentuk:

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - D = 0$$

dimana  $A$ ,  $B$ ,  $C$  merupakan fungsi dari  $x$  dan  $y$ , sedangkan  $D$  merupakan fungsi  $x$ ,  $y$ ,  $u$ ,  $\partial u / \partial x$ , dan  $\partial u / \partial y$ . Persamaan Diferensial Parsial linear berorde dua dan fungsi dua variabel bebas ( $x$ ,  $y$ ) dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

### a. Persamaan Diferensial Parsial Eliptik

Persamaan Diferensial Parsial Eliptik berkaitan dengan kondisi keseimbangan (equilibrium). Biasanya berhubungan dengan masalah keseimbangan atau kondisi permanen (tidak tergantung waktu) dan penyelesaiannya memerlukan kondisi batas di sekeliling daerah tinjauan. Contoh yang diberikan biasa disebut persamaan Laplace (permanen, 2-D). Pada Persamaan Diferensial Parsial eliptik apabila  $B^2 - 4AC > 0$ , maka:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

### b. Persamaan Diferensial Parsial Parabolik

Persamaan Diferensial Parsial Parabolik berkaitan dengan peristiwa difusi sehingga contoh yang diberikan biasa disebut persamaan difusi, seperti distribusi panas 1-D pada batang besi atau distribusi 2-D pada pelat baja. Persamaan Diferensial Parsial Parabolik biasanya merupakan persamaan



yang tergantung pada waktu (tidak permanen) dan penyelesaiannya memerlukan kondisi awal dan batas. Pada Persamaan Diferensial Parsial Parabolik apabila  $B^2 - 4AC = 0$ , maka:

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial t}$$

c. Persamaan Diferensial Parsial Hyperbolik

Berkaitan dengan sistem yang bergetar atau berosilasi sehingga contoh yang diberikan biasa disebut persamaan gelombang. Apabila  $B^2 - 4AC < 0$ , maka:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t}$$

## 2.6 Metode *Finite Difference*

Metode beda hingga atau *Finite Difference Method* merupakan salah satu metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan persamaan diferensial parsial. Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, metode beda hingga memanfaatkan deret Taylor dengan cara mengaproksimasi atau melalui pendekatan turunan-turunan persamaan diferensial parsial menjadi sistem persamaan linier.

Alat yang sangat penting dalam analisis metode *Finite Difference* adalah menggunakan deret Taylor. Ekspansi deret Taylor untuk analisis metode *forward Finite Difference* dapat dituliskan sehingga deret tak terbatas sebagai berikut:

$$U(x + h) = u(x) + hu'(x) + \frac{h^2}{2}u'' + \dots + \frac{h^k}{k!}u^{(k)}(x) + \dots$$

jika  $u(x)$  dapat diturunkan beberapa orde, maka:

$$U(x+h) = u(x) + hu'(x) + \frac{h^2}{2}u'' + \dots + \frac{h^k}{k!}u^{(k)}(\xi)$$

dimana  $x < \xi < x+h$  ( $x+h < \xi < x$ , jika  $h < 0$ ).

Ekspansi deret Taylor untuk analisis metode *backward Finite Difference* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$U(x-h) = u(x) - hu'(x) + \frac{h^2}{2}u'' - \dots + \frac{h^k}{k!}U^{(k)}(x) + \dots$$

sedangkan ekspansi deret Taylor untuk analisis metode *central Finite Difference* merupakan pengurangan antara *forward Finite Difference* dan *backward Finite Difference*, sehingga didapatkan:

$$U(x+h) - U(x-h) = 2hu'(x)$$

## 2.7 Skema *Finite Difference*

### 2.7.1 Skema Eksplisit

Pada skema Eksplisit, variabel pada waktu  $n+1$  dihitung berdasarkan variabel pada waktu  $n$  yang sudah diketahui. Fungsi variabel (temperatur)  $T(x,t)$  dan turunannya dalam ruang dan waktu didekati oleh bentuk berikut:

$$\begin{aligned} T(x,t) &\approx T_i^n \\ \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} &\approx \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \\ \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial^2 x} &\approx \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta x^2} \end{aligned}$$

dengan menganggap bahwa  $K$  konstan maka persamaan tersebut menjadi:

$$\frac{\partial^2 T(x,t)}{\Delta t} \approx K \left( \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta x^2} \right)$$

atau

$$T_i^{n+1} \approx T_i^n + K \left( \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) (T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n) \quad (2.7)$$

### 2.7.2 Skema Implisit

Pada skema eksplisit, ruas kanan ditulis pada waktu  $n$  yang sudah diketahui nilainya, akan tetapi pada skema implisit ruas kanan ditulis pada waktu  $n+1$  yang tidak diketahui nilainya.

$$\begin{aligned} T(x, t) &\approx T_i^n \\ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} &\approx \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} \\ \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial^2 x} &\approx \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta x^2} \end{aligned}$$

sehingga dari persamaan:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial^2 x}$$

menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} &= K \left( \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta x^2} \right) \\ \left( -K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_{i-1}^{n+1} + \left( 1 + 2K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_i^{n+1} + \left( -K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_{i+1}^{n+1} &= T_i^n \end{aligned} \quad (2.8)$$

### 2.7.3 Skema Crank-Nicolson

Skema Crank-Nicolson merupakan pengembangan dari skema eksplisit dan skema implisit. Pada skema eksplisit, pendekatan solusi  $c(x_i, t_{n+1})$  dihitung menggunakan jaringan titik  $(x_i, t_n)$ . Sedangkan pada skema implisit pendekatan solusi  $c(x_i, t_n)$  dihitung menggunakan jaringan titik  $(x_i, t_{n+1})$ , pada skema Crank-Nicolson pendekatan solusi  $c(x_i, t_{n+1})$  akan dihitung menggunakan jaringan titik

$(xi,tn)$  dan jaringan titik  $(xi,tn+1)$  yang artinya, diferensial terhadap waktu ditulis pada  $n+ 1/2$ . Sehingga skema diferensial persamaa terhadap waktu adalah:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} \approx \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t}$$

Aproksimasi suku ferivatif ruang dan waktu  $n+1/2$  dianggap sebagai nilai rata-rata derivatif pada waktu  $n$  dan  $n+1$  yang artinya nilai rerata dari skema Eksplisit dan skema Implisit. Sehingga skema Crank-Nicholson untuk diferensial kedua terhadap  $x$  adalah:

$$\frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial^2 x} \approx \frac{1}{2} \left( \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{\Delta x^2} + \frac{T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}}{\Delta x^2} \right)$$

bentuk beda hingga persamaan parabola dengan demikian dapat dituliskan:

$$\begin{aligned} \left( -K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_{i-1}^{n+1} + 2 \left( 1 + K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_i^{n+1} + \left( -K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_{i+1}^{n+1} \\ = \left( K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_{i-1}^{n+1} + 2 \left( 1 - K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_i^{n+1} \\ + \left( K \frac{\Delta t}{\Delta x^2} \right) T_{i+1}^{n+1} \end{aligned} \quad (2.9)$$

## 2.8 Susu Sapi dalam Perspektif Islam

Kebutuhan pangan seperti makanan dan minuman merupakan kebutuhan pokok manusia setiap hari untuk memenuhi kebutuhan tubuh, baik untuk pertumbuhan maupun untuk energi. Begitu pentingnya makanan bagi manusia hingga Allah banyak berfirman didalam Al-Qur'an tentang makanan dan minuman. Hal yang demikian ini menunjukkan bahwa Islam mengatur agar manusia mengonsumsi makanan yang baik, yakni yang menyehatkan dan tidak menimbulkan penyakit. Allah berfirman dalam surat Al-Baqarah ayat 168:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ كُلُوا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ  
إِنَّهُ لَكُمْ عَدُوٌّ مُبِينٌ

*Wahai manusia! Makanlah dari (makanan) yang halal dan baik yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah setan. Sungguh, setan itu musuh yang nyata bagimu. (QS. Al-Baqarah/2: 168).*

Dalam tafsir ringkas kemenag RI ayat ini menjelaskan manusia diperintahkan makan dan minum dengan yang halal, yaitu yang tidak haram, baik zatnya maupun cara memperolehnya. Selain halal, makanan juga harus baik, yaitu sehat, aman dan tidak berlebihan. Makanan yang dimaksud adalah yang terdapat di bumi yang diciptakan Allah untuk seluruh umat manusia, dan janganlah kamu mengikuti Langkah-langkah setan Allah mengingatkan bahwa sungguh setan itu musuh yang nyata bagi manusia.

Allah telah menyediakan beragam sumber pangan yang dikenal sumber nabati. Salah satunya yaitu susu sapi. Susu sapi sebagai sumber kebutuhan pangan yang banyak manfaatnya dalam memenuhi gizi manusia. Susu merupakan salah satu sumber gizi yang baik bagi manusia. Hal tersebut tertuang dalam Surah al-Mu'minin ayat 21 menjelaskan:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۖ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَفْعٌ كَثِيرٌ ۖ وَمِنْهَا  
تَأْكُلُونَ

*Yang artinya adalah dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian daripadanya kamu makan (QS.Al-Mu'minin: 21).*

Menurut Tafsir Ibnu Katsir dalam ayat diatas menjelaskan Allah Ta'ala menyebutkan bahwa apa yang telah diciptakan bagi makhluk-Nya pada binatang ternak terdapat berbagai manfaat, di mana mereka dapat minum dari susu-

susunya yang keluar dari saluran antara tempat kotoran dan saluran darah. Ayat tersebut menjelaskan bahwa binatang ternak seperti sapi, kambing, unta dan lain-lain mempunyai pelajaran dan manfaat bagi manusia, hewan ternak yang mempunyai manfaat berupa air susu yang menjadi makanan bergizi bagi manusia dalam kehidupannya.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan pendekatan eksperimental laboratorik serta hasil numerik dalam metode komputasi yang disimulasikan dengan *Software* Matlab dan *Software* Abaqus. Data yang diperlukan bersifat data yang diambil langsung dari objek penelitian dan diambil dari data referensi. Penelitian bersifat eksperimental dengan melakukan pengambilan data suhu didalam susu pasteurisasi dengan variasi suhu lingkungan dan kemasan. Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan *Software* Matlab bertujuan untuk mengetahui persebaran suhu dan waktu maksimum susu pasteurisasi hingga mencapai suhu ambien dengan variasi meterial kemasan dan suhu lingkungan.

### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus hingga bulan Desember 2020. Tempat penelitian di Laboratorium Biofisika dan Ruang Diskusi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

### **3.3 Alat dan Bahan Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Inkubator
2. Termometer Digital
3. Jangka sorong
4. pH meter
5. Botol kaca 250 ml

6. Botol plastik PET 250 ml
7. Botol plastik HDPE 250ml
8. Ice Pack
9. Box Frozen Food
10. Laptop
11. *Software* MATLAB

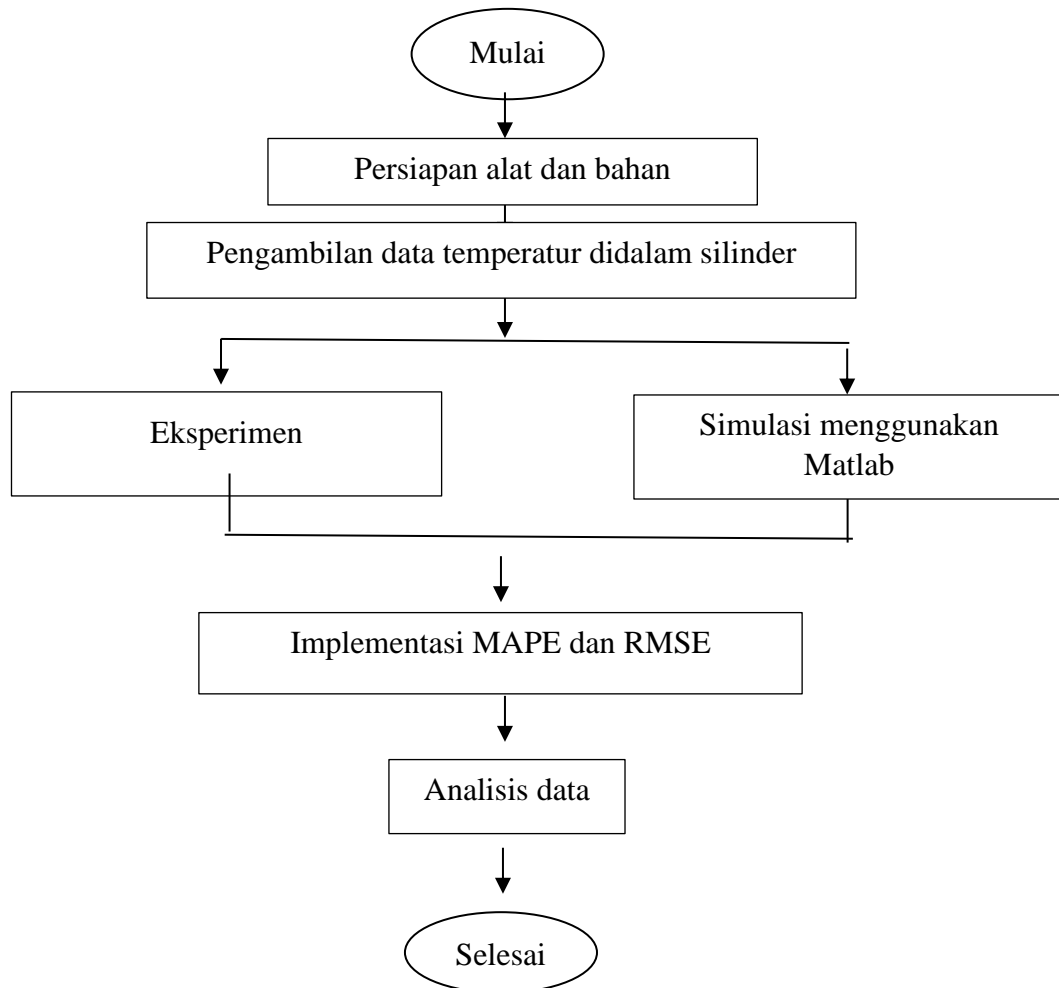
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Susu sapi
2. Bubuk pH Buffer 6,86
3. Kertas
4. Tissue



## 1.4 Diagram Alir

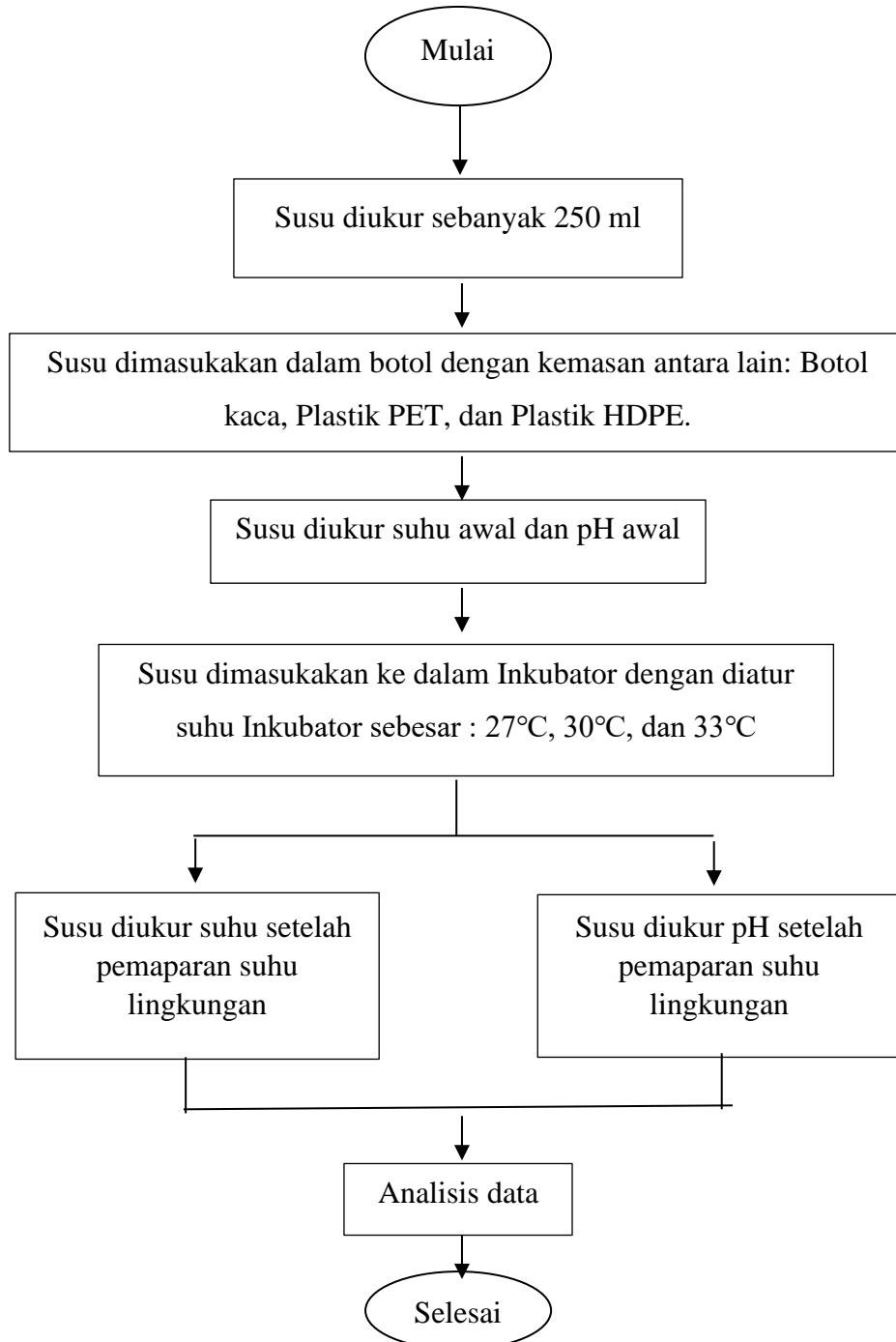
Secara skematik, langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut:



3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4.1 Pengambilan Data dengan Eksperimen

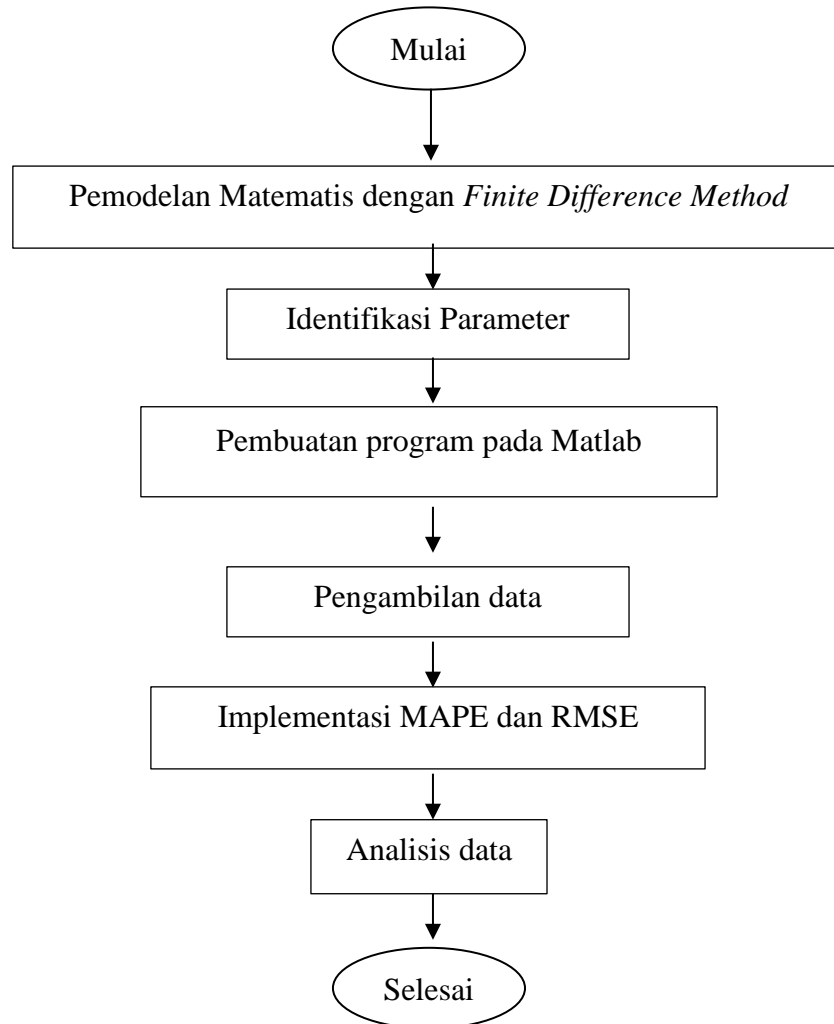
Secara skematik, langkah-langkah dalam pengambilan data dengan Eksperimen ini dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengambilan Data dengan Eksperimen

#### 1.4.2 Simulasi dengan *Software* MATLAB

Langkah-langkah yang dilakukan dalam simulasi dengan *Software* MATLAB adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi dengan *Software* MATLAB

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Ekperimen

Langkah-langkah pengambilan data suhu secara ekperimental dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

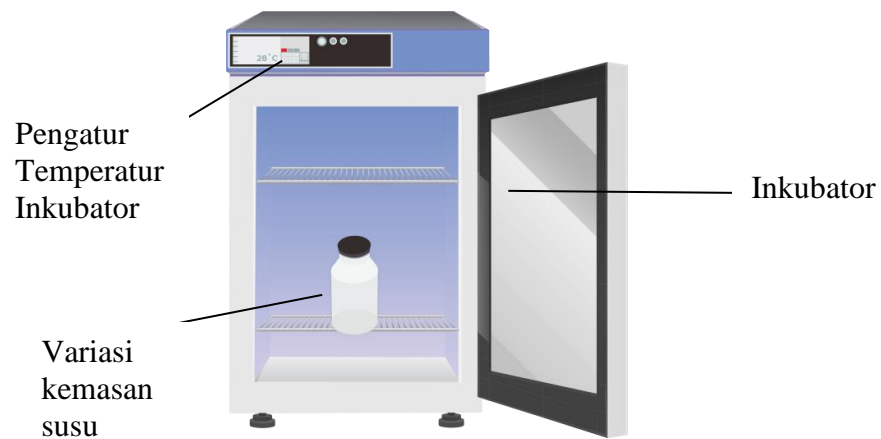
1. Persiapan sampel

Penelitian ini menggunakan sampel yaitu susu sapi murni yang sudah dilakukan pengolahan secara pasteurisasi diperoleh dari Koperasi Susu (KOPSU) Kota Batu Susu diukur sebanyak 250 ml, kemudian susu dimasukkan dalam botol kemasan antara lain: botol kaca, botol PET, dan botol HDPE. Susu yang diperoleh dimasukkan kedalam *cool box* yang berisi ice pack agar suhu susu tetap stabil. Susu dibawa ke Laboratorium Biofisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang untuk segera dilakukan pengujian.

2. Pengukuran

Susu dimasukkan ke Inkubator untuk dipapari suhu lingkungan sebesar 27°C, 30°C, dan 33°C. Kemudian dilakukan pengukuran suhu dan pH. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui waktu maksimum susu sapi sampai mencapai suhu ambient. Pengukuran suhu pada susu dilakukan setiap 2 menit sampai 3 jam. Sebelum dilakukan pengukuran suhu, susu diukur suhu awal dan pH awal. Pengukuran suhu pada susu dapat diukur menggunakan thermometer digital. Parameter yang digunakan untuk mengetahui ketahanan dari susu pasteurisasi yaitu dengan mengukur pH. Pengukuran pH dilakukan menggunakan pHmeter yang dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan sehingga mendapatkan hasil yang akurat. Setiap

20 menit dalam waktu 3 jam penelitian dilakukan pengukuran pH. Jika pada waktu tertentu nilai pH menurun maka dapat disimpulkan bahwa kualitas dari yoghurt tersebut juga menurun.



Gambar 3.5 Sketsa Eksperimen

### 3. Pengambilan data

Dilakukan pengambilan data temperature susu setiap 2 menit selama 3 jam dan disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 3.1 Pengukuran dengan Suhu 27°C

Material Kemasan	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	Suhu Susu (°C)
Botol kaca	27°C		
PET			

HDPE			

Tabel 3.2 Pengukuran dengan Suhu 30°C

Material Kemasan	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	Suhu Susu (°C)
Botol kaca	30°C		
PET			
HDPE			

Tabel 3.3 Pengukuran dengan Suhu 33°C

Material Kemasan	Suhu Lingkungan (°C)	Waktu (menit)	Suhu Susu (°C)
Botol kaca	33°C		
PET			

HDPE			

### 3.5.2 Simulasi dengan *Software* MATLAB

Langkah-langkah pengambilan data dengan menggunakan *Software* MATLAB dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Pemodelan Matematis

Pemodelan matematis persamaan panas tiga dimensi dimulai dari sistem koordinat kartesius kemudian ditransformasikan kedalam sistem koordinat tabung. Persamaan analitik panas konduksi pada silinder ditransformasikan ke persamaan numerik *Finite Difference Method*, kemudian akan didapatkan persamaan perpindahan panas konduksi.

#### 2. Identifikasi Parameter

Beberapa parameter yang akan dimasukkan dalam simulasi perpindahan panas dengan *Software* MATLAB diantaranya, yaitu konduktivitas termal (K), Kalor jenis (C), jari-jari (r), jumlah grid, dan temperatur lingkungan ( $T_{lingkungan}$ ). Beberapa nilai-nilai seperti: konduktivitas Termal, densitas, dan kalor jenis didapatkan dengan data sekunder. Berikut nilai-nilai konduktivitas Termal, densitas, kalor jenis dan emisivitas pada masing-masing bahan dituliskan pada tabel berikut:

Tabel 3.4 Nilai Fisik dari Masing-masing Kemasan

Sifat Termal	Material Kemasan	Nilai	Referensi
Konduktivitas Termal (W / m K)	PET	0.24	Crawford
	HDPE	0.35	Crawford
	Glass	0.8	Crawford
	Milk	0.58	Ashrae
Densitas (kg / m <sup>3</sup> )	PET	1380	Crawford
	HDPE	940	Crawford
	Glass	1030	Crawford
	Milk	1027	BSN
Kalor Jenis (J / Kg K)	PET	1300	Crawford
	HDPE	1900	Crawford
	Glass	840	Crawford
	Milk	389	Ashrae

Kemudian menentukan Geometri untuk masing-masing kemasan. Geometri masing-masing kemasan dapat dituliskan pada tabel berikut :

Tabel 3.5 Nilai Geometri dari Masing-masing Kemasan

No.	Material kemasan	Jari-jari luar botol (cm)	Jari-jari dalam botol (cm)	Tinggi (cm)
1.	PET	5	0,0247	13
2.	HDPE	6	0,0285	12
3.	Kaca	6	0.0259	12

### 3. Pembuatan Program

Pembuatan program dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB, yakni dimulai dengan membuat matriks sesuai dengan ukuran kemasan. Simulasi dilakukan dengan mengubah-ubah beberapa nilai parameter yang telah ditentukan sebelumnya. Pada simulasi model perpindahan panas pada distribusi susu terdapat parameter yang akan divariasikan yaitu material kemasan dan suhu lingkungan. Variasi setiap parameter dilakukan secara bergantian misalnya jika material kemasan yang divariasikan, maka suhu lingkungan dianggap tetap. Sedangkan jika suhu lingkungan yang divariasikan, maka material kemasan dianggap tetap.



#### 4. Pengambilan Data

Metode pengambilan data pada simulasi dengan menggunakan software matlab dalam penelitian ini dengan melakukan pengambilan data pada output. Output pada *software* Matlab berupa perubahan temperature susu dalam masing-masing kemasan. Data yang diambil yaitu suhu yang berada dalam susu setiap 2 menit selama 180 menit.

##### 3.5.3 Implementasi MAPE dan RMSE

Hasil data temperatur dipusat silinder dari simulasi kemudian dibandingkan dengan data eksperimen untuk menghitung prosentase kesalahannya. Ada beberapa metode perhitungan yang biasa digunakan dalam menghitung kesalahan prediksi (*forecast error*). Cara untuk mengevaluasi teknik peramalan salah satunya adalah Kesalahan persen rata-rata absolute atau *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dan (RMSE). Root mean square error (RMSE) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil dari pengukuran terhadap nilai sebenarnya atau nilai dianggap benar. Semakin kecil nilai RMSE, maka pengklasteran data semakin mendekati benar.

Evaluasi yang selanjutnya dilakukan adalah melakukan penghitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). MAPE berguna untuk mengukur ukuran kesalahan dalam satuan persen, MAPE menghitung rata-rata error yang tidak ditangani dalam satuan persen. Nilai MAPE memiliki kriteria yang menjelaskan bahwa semakin kecil nilai MAPE maka nilai akurasi semakin baik. Kriteria nilai MAPE ditunjukkan pada Tabel (Chang, Wang, & Liu, 2007).

#### **3.5.4 Analisis Hasil**

Hasil dari pengambilan data temperatur silinder dari eksperimen dan simulasi dengan variasi material kemasan dan variasi suhu lingkungan selanjutnya dianalisis untuk mengetahui persebaran suhu didalam kemasan susu pasteurisasi sehingga akan didapatkan material kemasan yang baik digunakan untuk susu pasteurisasi. Selanjutnya, variasi suhu lingkungan bertujuan untuk menyesuaikan kondisi suhu lingkungan ketika distribusi susu pasteurisasi berlangsung. Sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui estimasi waktu yang tepat susu mengalami penurunan kualitas selama distribusi berlangsung pada kondisi suhu kamar.

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pemodelan Matematik

Proses pemodelan persamaan panas dimensi tiga dimulai dari sistem koordinat kartesius kemudian ditransformasikan ke dalam sistem koordinat tabung, karena pada permasalahan yang akan diselesaikan yaitu botol berbentuk tabung.

Volume dari elemen benda tiga dimensi adalah  $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$ , maka massa dari sebuah elemen adalah  $\Delta m = \rho \Delta V = \rho \Delta x \Delta y \Delta z$ . Jumlah panas pada elemen ini saat waktu  $t$  adalah:

$$Q(x, y, z, t, \Delta x, \Delta y, \Delta z) = c \Delta m T(x, y, z, t) = c \rho \Delta x \Delta y \Delta z T(x, y, z, t) \quad (4.1)$$

Rata-rata perubahan jumlah panas pada elemen ini diberikan oleh:

$$\frac{dQ}{dt} = c \rho \Delta x \Delta y \Delta z \frac{dT}{dt}(x, y, z, t) \quad (4.2)$$

Sesuai dengan prinsip kekekalan energi, yaitu rata-rata perubahan panas sama dengan aliran panas yang masuk dikurangi dengan aliran panas yang keluar, maka dapat dituliskan:

$$\frac{dQ}{dt} = (q_x + q_y + q_z) - (q_{x+\Delta x} + q_{y+\Delta y} + q_{z+\Delta z}) \quad (4.3)$$

Sedangkan kuantitas energi atau banyaknya energi tiap elemen ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini, yaitu:

$$q_x = -k\Delta y\Delta z \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.4)$$

$$q_{x+\Delta x} = -\left[ k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \Delta x \right] \Delta y \Delta z \quad (4.5)$$

$$q_y = -k\Delta x\Delta z \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4.6)$$

$$q_{y+\Delta y} = -\left[ k \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \Delta y \right] \Delta x \Delta z \quad (4.7)$$

$$q_z = -k\Delta x\Delta y \frac{\partial T}{\partial z} \quad (4.8)$$

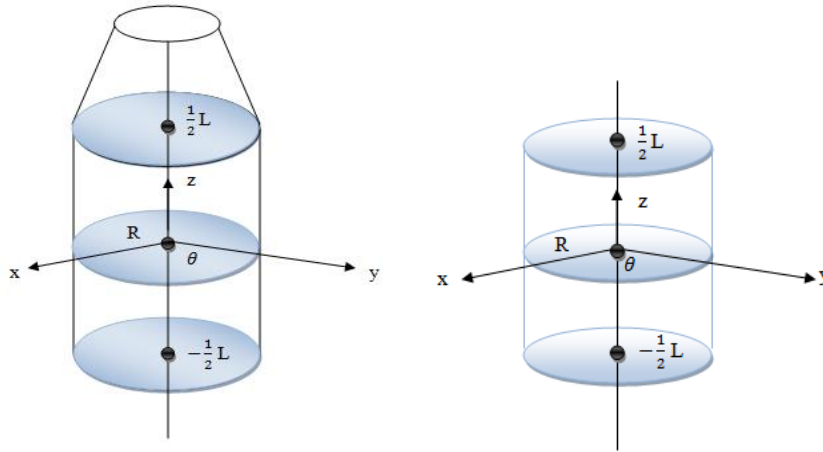
$$q_{z+\Delta z} = -\left[ k \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) \Delta z \right] \Delta x \Delta y \quad (4.9)$$

Persamaan (4.2) dan (4.4) sampai dengan persamaan (4.9) disubstitusikan ke persamaan (4.3) kemudian persamaan tersebut dibagi dengan  $\Delta x\Delta y\Delta z$  maka akan menjadi:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = k \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (4.10)$$

karena konduktifitas termal tetap, maka persamaan panas pada benda dimensi tiga dalam koordinat cartesius dapat dituliskan:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \nabla^2 T \quad (4.11)$$



Gambar 4.1 Koordinat Tabung

Selanjutnya jika  $T = T(x, y, z, t)$  ditransformasikan dalam koordinat tabung  $T = T(r, \theta, z, t)$  yang digambarkan pada gambar 4.1 dengan transformasi sebagai berikut  $x = r \cos \theta$ ,  $y = r \sin \theta$  dan  $Z = z$ , maka didapatkan turunan parsial pertama:

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \quad (4.12)$$

$$= \cos \theta \frac{\partial T}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial T}{\partial y}$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \theta} \quad (4.13)$$

$$= -r \sin \theta \frac{\partial T}{\partial x} + r \cos \theta \frac{\partial T}{\partial y}$$

Atau dapat dituliskan:

$$T_r = \cos \theta T_x + \sin \theta T_y \quad (4.14)$$

$$T_{\theta} = -r \sin \theta T_x + r \cos \theta T_y$$

(4.15)

Selanjutnya turunan parsial keduanya diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} &= \frac{\partial}{\partial r} \left[ \frac{\partial T}{\partial r} \right] \\
 &= \frac{\partial}{\partial r} \left[ \cos \theta \frac{\partial T}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial T}{\partial y} \right] \\
 &= \frac{\partial}{\partial r} \left[ \cos \theta \frac{\partial T}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial T}{\partial y} \right] \\
 &= \cos \theta \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right) \\
 &= \cos \theta \left[ \frac{\partial T_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \right] + \sin \theta \left[ \frac{\partial T_y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial T_y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial r} \right] \\
 &= \cos \theta \left[ T_{xx} \cos \theta + T_{xy} \sin \theta \right] + \sin \theta \left[ T_{yx} \cos \theta + T_{yy} \sin \theta \right] \\
 &= \cos^2 \theta T_{xx} + \sin \theta \cos \theta T_{xy} + \sin \theta \cos \theta T_{yx} + \sin^2 \theta T_{yy} \\
 &= \cos^2 \theta T_{xx} + 2 \sin \theta \cos \theta T_{xy} + \sin^2 \theta T_{yy}
 \end{aligned}$$

(4.16)

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} &= \frac{\partial}{\partial \theta} \left[ \frac{\partial T}{\partial \theta} \right] \\
 &= \frac{\partial}{\partial \theta} \left[ -r \sin \theta \frac{\partial T}{\partial x} + r \cos \theta \frac{\partial T}{\partial y} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= r \left[ -\cos \theta T_x - \sin \theta \frac{\partial}{\partial x} (T_x) - \sin \theta T_y + \cos \theta \frac{\partial}{\partial y} (T_y) \right] \\
&= r \left[ -\cos \theta T_x - \sin \theta \left( \frac{\partial T_x}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \frac{\partial T_x}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \theta} \right) - \sin \theta T_y \right. \\
&\quad \left. + \cos \theta \left( \frac{\partial T_y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \theta} + \frac{\partial T_y}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \theta} \right) \right] \\
&= r \left[ -\cos \theta T_x - \sin \theta T_y + r \sin^2 \theta T_{xx} + r \sin \theta \cos \theta T_{xy} \right. \\
&\quad \left. + r \sin \theta \cos \theta T_{yx} + r \cos^2 \theta T_{yy} \right] \\
&= r \left[ -\cos \theta T_x - \sin \theta T_y + r \sin^2 \theta T_{xx} + 2r \sin \theta \cos \theta T_{xy} \right. \\
&\quad \left. + r \cos^2 \theta T_{yy} \right] \\
&= r (-\cos \theta T_x - \sin \theta T_y) \\
&\quad + r^2 (\sin^2 \theta T_{xx} + 2 \sin \theta \cos \theta T_{xy} + \cos^2 \theta T_{yy}) \\
&= r \left[ -\cos \theta \left( \cos \theta T_r - \frac{\sin \theta}{r} T_\theta \right) - \sin \theta \left( \sin \theta T_r - \frac{\cos \theta}{r} T_\theta \right) \right] \\
&\quad + r^2 [\sin^2 \theta T_{xx} \\
&\quad + (\cos^2 \theta T_{xx} + \sin^2 \theta T_{yy} - T_{rr}) + \cos^2 \theta T_{yy}] \\
&= r (\cos^2 \theta T_r + \sin^2 \theta T_r) + r^2 (T_{xx} + T_{yy} - T_{rr}) \tag{4.17}
\end{aligned}$$

Atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$T_{\theta\theta} = -r T_r + r^2 (T_{xx} + T_{yy}) - r^2 T_{rr}$$

$$r^2 (T_{xx} + T_{yy}) = T_{\theta\theta} + r T_r + r^2 T_{rr}$$

$$T_{xx} + T_{yy} = \frac{1}{r} T_r + T_{rr} + \frac{1}{r^2} T_{\theta\theta} \quad (4.18)$$

Kemudian persamaan (4.11) disubstitusikan ke persamaan (4.18), maka:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4.19)$$

Persamaan (4.19) inilah yang disebut sebagai persamaan panas pada benda dimensi tiga dalam koordinat tabung. Kemudian karena botol yang disimulasikan berbentuk tabung yang bersifat simetri sehingga perambatan panas tidak bergantung pada sudut  $\theta$ , maka  $\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$   $\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0$ , sehingga didapatkan:

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad (4.20)$$

Persamaan Beda Hingga digunakan untuk pendekatan turunan parsial dari  $T(r,z,t)$  dengan

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{T(r_i + \Delta r, z_j, t_k) - T(r_i - \Delta r, z_j, t_k)}{2\Delta r} \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{T(r_i + \Delta r, z_j, t_k) - 2T(r_i, z_j, t_k) + T(r_i - \Delta r, z_j, t_k)}{\Delta^2 r} \quad (4.22)$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{T(r_i, z_j + \Delta z, t_k) - 2T(r_i, z_j, t_k) + T(r_i, z_j - \Delta z, t_k)}{\Delta^2 z} \quad (4.23)$$



$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T(r_i, z_j, t_{k+\Delta t}) - T(r_i, z_j, t_k)}{2\Delta t} \quad (4.24)$$

Apabila  $T(r_i, z_j, t_k) = T_{i,j,k}$  maka persamaan diatas akan menjadi:

$$T(r_{i+\Delta r}, z_j, t_k) = T_{i+1,j,k} \quad (4.25)$$

$$T(r_{i-\Delta r}, z_j, t_k) = T_{i-1,j,k} \quad (4.26)$$

$$T(r_i, z_{j+\Delta z}, t_k) = T_{i,j,k+1} \quad (4.27)$$

$$T(r_i, z_{j-\Delta z}, t_k) = T_{i,j-1,k} \quad (4.28)$$

$$T(r_i, z_{j-\Delta z}, t_k) = T_{i,j-1,k} \quad (4.29)$$

Kemudian persamaan persamaan disubstitusikan ke persamaan panas pada benda tiga dimensi dalam koordinat tabung maka akan menjadi :

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\alpha} \frac{T_{i,j,k+1} - T_{i,j,k}}{\Delta t} &= \frac{1}{r} \frac{T_{i+1,j,k} - T_{i-1,j,k}}{2\Delta r} + \frac{T_{i+1,j,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i-1,j,k}}{\Delta^2 r} \\ &+ \frac{T_{i,j+1,k} - 2T_{i,j,k} + T_{i,j-1,k}}{\Delta^2 z} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_{i,j,k+1} = & T_{i,j,k} \left( 1 - \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 r} + \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 z} \right) + T_{i+1,j,k} \left( \frac{2\alpha\Delta t}{2r\Delta r} + \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 r} \right) \\
& + T_{i-1,j,k} \left( \frac{2\alpha\Delta t}{2r\Delta r} + \frac{2\alpha\Delta t}{\Delta^2 r} \right) + T_{i,j+1,k} \left( \frac{\alpha\Delta t}{\Delta^2 z} \right) \\
& + T_{i,j-1,k} \left( \frac{\alpha\Delta t}{\Delta^2 z} \right)
\end{aligned} \tag{4.30}$$

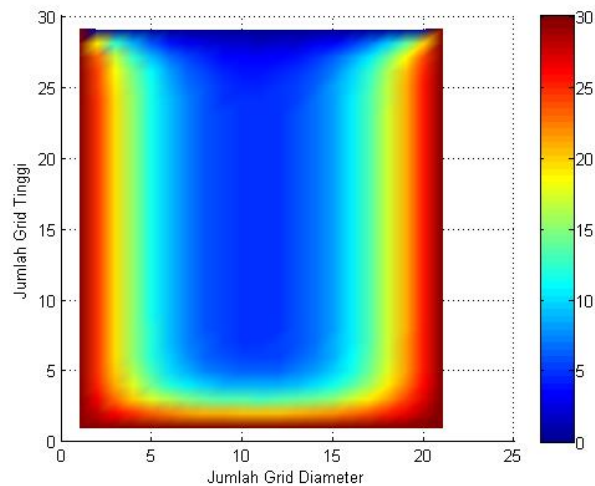
## 4.2 Hasil dan Analisa Data Simulasi Menggunakan *Software* MATLAB dengan Eksperimen

Pada simulasi menggunakan *Software* Matlab ini dilakukan enam percobaan dengan perbedaan pada bahan kemasan dan suhu lingkungan. Simulasi menggunakan Matlab ini bertujuan untuk mendapatkan data temperatur dari masing-masing susu kemasan yang kemudian akan dibandingkan dengan data temperatur masing-masing susu kemasan pada eksperimen. Berikut adalah hasil dari simulasi dan eksperimen, ditampilkan dalam Tabel 4.1.

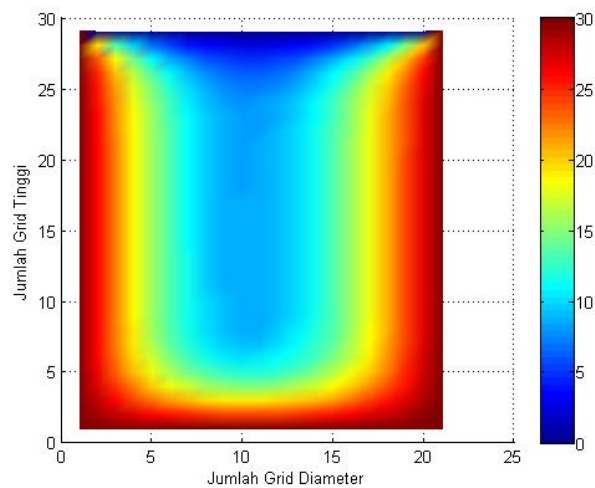
Tabel 4.1 Waktu yang Dibutuhkan Susu Untuk Mencapai Temperatur Parameter Hasil Eksperimen dan Simulasi

Bahan Kemasan	Temperatur Lingkungan	Temperatur Parameter	Waktu untuk mencapai Temperatur Parameter	
			Eksperimen (menit)	Matlab (menit)
PET	27°C	24°C	160	>180
	30°C	24,9°C	140	130
	33°C	25,9°C	120	100
HDPE	27°C	23,6°C	180	>180
	30°C	23,8°C	158	142
	33°C	24°C	128	96
Kaca	27°C	22°C	150	130
	30°C	23,2°C	128	104
	33°C	23,8°C	120	78

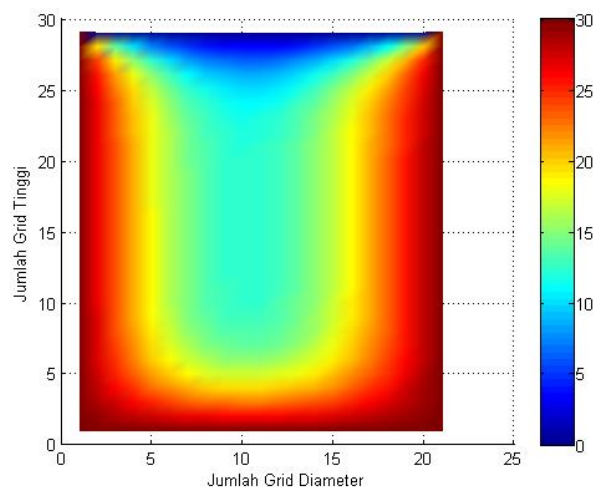
Percobaan pertama dilakukan pada kemasan botol dengan bahan PET. Kemudian dibuat sebuah geometri untuk kemasan botol yang berbentuk silinder. Ukuran tinggi dan diameter silinder botol PET susu yang disimulasikan adalah  $14 \times 5$  cm. Dengan kondisi suhu awal pada susu yaitu sebesar  $4^{\circ}\text{C}$  dan kemudian susu dibiarkan pada suhu lingkungan sebesar  $30^{\circ}\text{C}$ .



(a)



(b)

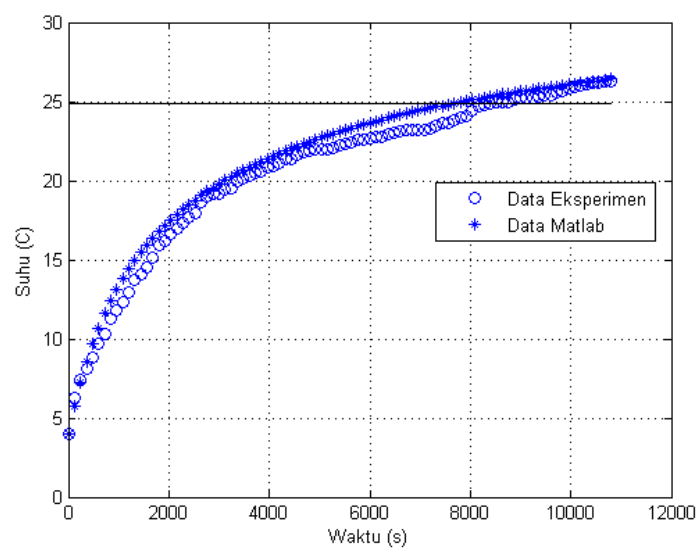


(c)

**Gambar 4.2** Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$  selama 60, 120, dan 180 menit.

Gambar 4.2 merupakan hasil persebaran panas konduksi silinder kemasan Botol PET dengan suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$  selama 60, 120, dan 180 menit. Sumbu x menunjukkan jumlah grid dari diameter kemasan sedangkan sumbu y menunjukkan jumlah grid dari tinggi kemasan. Karena pada tutup botol menggunakan bahan yang berbeda dari kemasan maka panas dari atas diabaikan atau tidak menghantarkan panas. Sebaran panas konduksi yang dihasilkan berawal dari bagian bawah, kiri dan kanan. Temperatur dari luar mempengaruhi temperatur selimut silinder sehingga temperatur selimut silinder lebih tinggi daripada temperatur dipusat silinder. Hal ini menunjukkan bahwa, energi dari partikel-partikel yang memiliki energi yang lebih besar berjalan menuju ke partikel-partikel yang memiliki energi yang lebih kecil. Selama 180 menit simulasi dilakukan untuk mengetahui temperatur dalam silinder. Kondisi temperatur dalam silinder susu pasteurisasi yang berada pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit yaitu sebesar  $26,4^{\circ}\text{C}$ . Simulasi pada kemasan bahan PET juga dilakukan variasi terhadap suhu lingkungan. Susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu  $27^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit, kondisi temperatur dalam silinder

susu pasteurisasi sebesar  $23,8^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu  $33^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit, kondisi temperatur dalam silinder susu pasteurisasi sebesar  $28,9^{\circ}\text{C}$ . Perubahan panas pada susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan  $27^{\circ}\text{C}$  sedikit lebih lambat daripada susu yang berada pada suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$  dan  $33^{\circ}\text{C}$ . Semakin besar variasi suhu lingkungan yang diberikan maka semakin besar pula kenaikan suhu.

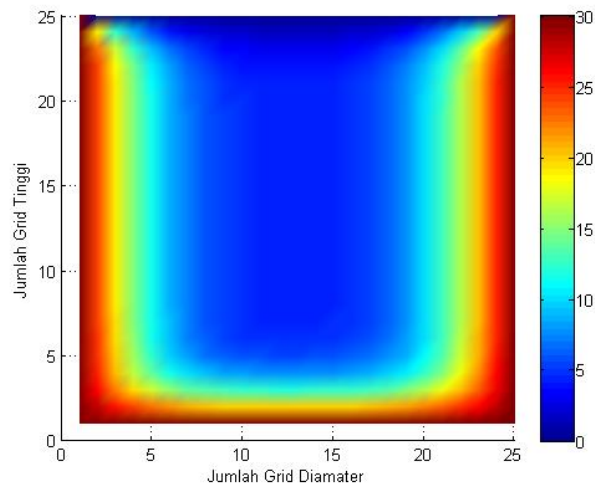


**Gambar 4.3** Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$

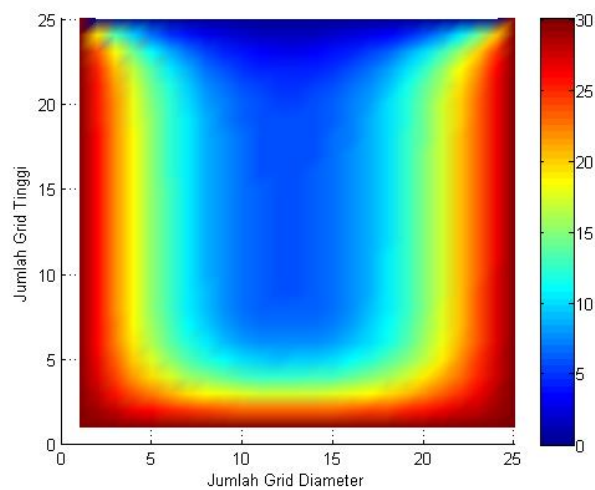
Gambar 4.3 merupakan grafik perbandingan temperatur dalam silinder data eksperimen dan data simulasi matlab pada kemasan botol PET dengan suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$ . Dimana sumbu y menunjukkan temperatur dalam silinder dan sumbu x menunjukkan waktu. Pada grafik tersebut menunjukkan suhu silinder mengalami perubahan kenaikan setiap waktu. Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pada data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan PET yang diletakkan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 140 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $24,9^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan

menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 130 menit. Grafik perbandingan temperatur dalam silinder data eksperimen dan data simulasi matlab pada kemasan botol PET dengan suhu lingkungan  $27^{\circ}\text{C}$  dan suhu lingkungan  $33^{\circ}\text{C}$  ditampilkan pada lampiran. Data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan PET yang diletakkan pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 160 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $24^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 180 menit. Data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan PET yang diletakkan pada suhu  $33^{\circ}\text{C}$  akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 160 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $25,9^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $33^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 100 menit. Parameter yang digunakan untuk mengetahui ketahanan susu pada kondisi suhu lingkungan yaitu dengan mengukur pH. Susu yang telah mengalami perubahan kualitas terjadi karena susu pasteurisasi sudah mengalami perubahan pH, pada waktu tersebut susu telah berada pada batas maksimum dari pH susu pasteurisasi secara normal. Murti (2010) menjelaskan bahwa nilai pH susu pasteurisasi mendekati pH normal yaitu 6,6-6,8. Perubahan suhu pada susu juga akan mempengaruhi nilai pH susu, dimana hal tersebut akan menurunkan kualitas susu tersebut. Hasil data temperatur silinder pada simulasi kemudian dibandingkan dengan data eksperimen dengan dihitung nilai RMSE dan MAPE untuk menghitung prosentase kesalahannya. Rata-rata nilai RMSE dan MAPE pada kemasan PET adalah kurang dari 7,6 dan 1,4. Berdasarkan nilai RMSE dan MAPE bahwa tingkat akurasi hasil simulasi Matlab dengan

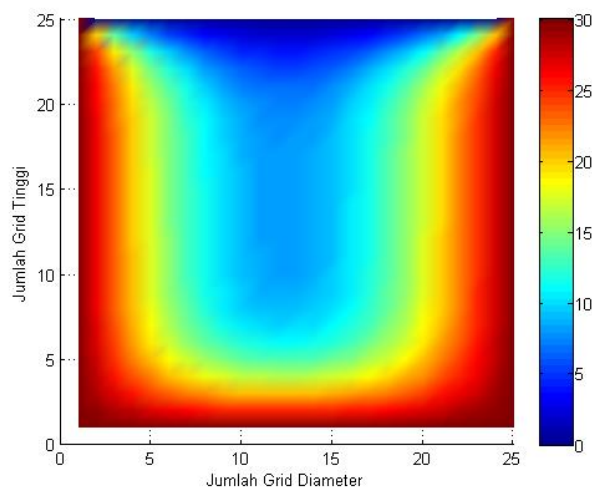
Eksperimen pada kemasan botol PET sudah sangat bagus hal itu dapat dilihat dari tingkat kesalahan yang relative kecil.



(a)



(b)



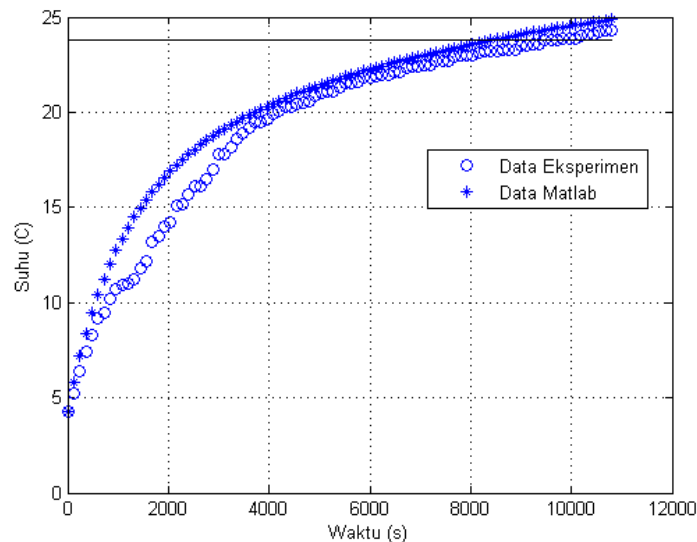
(c)

**Gambar 4.4** Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit.

Gambar 4.4 merupakan hasil persebaran panas konduksi silinder kemasan Botol HDPE dengan suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit. Pada simulasi botol HDPE dibuat ukuran tinggi dan diameter silinder adalah  $12 \times 6$  cm. Dengan kondisi suhu awal pada susu yaitu sebesar 4,3°C dan kemudian susu dibiarkan pada suhu lingkungan/suhu kamar sebesar 30°C. Sumbu x menunjukkan jumlah grid dari diameter kemasan sedangkan sumbu y menunjukkan jumlah grid dari tinggi kemasan. Simulasi pada kemasan bahan botol HDPE juga dilakukan dengan variasi terhadap suhu lingkungan yaitu sebesar 27°C dan 33°C. Susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu 27°C selama 180 menit, kondisi temperatur silinder susu pasteurisasi sebesar 22,42°C. Susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu 30°C selama 180 menit, kondisi temperatur silinder susu pasteurisasi sebesar 24,87°C. Sedangkan susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu 33°C selama 180 menit kondisi temperatur silinder susu pasteurisasi sebesar 27,195°C. Dari hasil gambar dan pengukuran temperatur pada silinder selama 180 menit, persebaran panas konduksi silinder menunjukkan bahwa



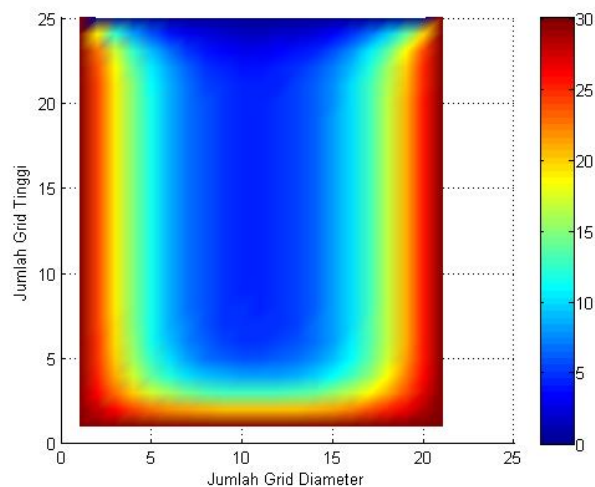
pada kemasan botol susu pasteurisasi dengan bahan HDPE mengalami sedikit lebih lambat dibandingkan dengan kemasan yang lain. Persebaran kalor juga berawal dari bawah, kiri dan kanan yang akan menuju pada pusat silinder.



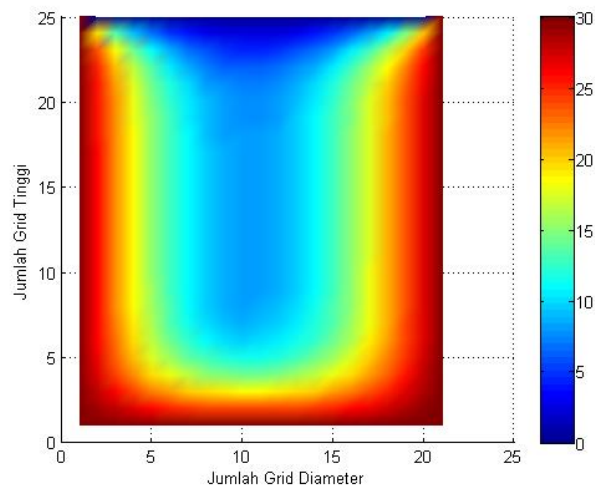
**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 30°C.

Gambar 4.5 merupakan perbandingan grafik temperatur pusat silinder data eksperimen dan data simulasi matlab pada kemasan botol HDPE dengan suhu lingkungan 30°C. Dimana sumbu y menunjukkan temperatur dalam silinder dan sumbu x menunjukkan waktu. Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pada data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan HDPE yang diletakkan pada suhu 30°C akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 158 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar 23,8°C, sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu 30°C selama 180 menit akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 142 menit. Grafik perbandingan temperatur silinder data eksperimen dan data simulasi matlab pada kemasan botol HDPE dengan suhu lingkungan 27°C dan suhu lingkungan 33°C juga ditampilkan

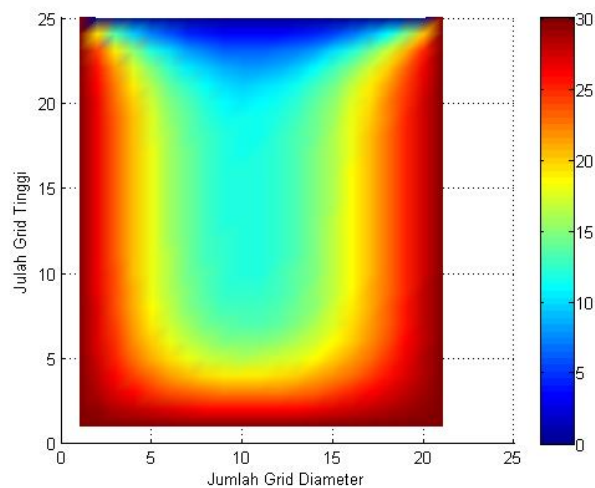
pada lampiran. Data eksperimen data matlab susu pasteurisasi dengan kemasan HDPE yang diletakkan pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  masih dapat bertahan selama 180 menit. Sedangkan data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan HDPE yang diletakkan pada suhu  $33^{\circ}\text{C}$  akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 128 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $24^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $33^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 96 menit. Rata-rata nilai RMSE dan MAPE pada kemasan HDPE dengan variasi suhu lingkungan adalah kurang dari 10,52 dan 2,006. Berdasarkan hasil nilai RMSE dan MAPE bahwa tingkat akurasi hasil simulasi Matlab dengan Eksperimen pada kemasan botol HDPE sudah sangat bagus hal itu dapat dilihat dari tingkat kesalahan yang relative kecil.



(a)



(b)

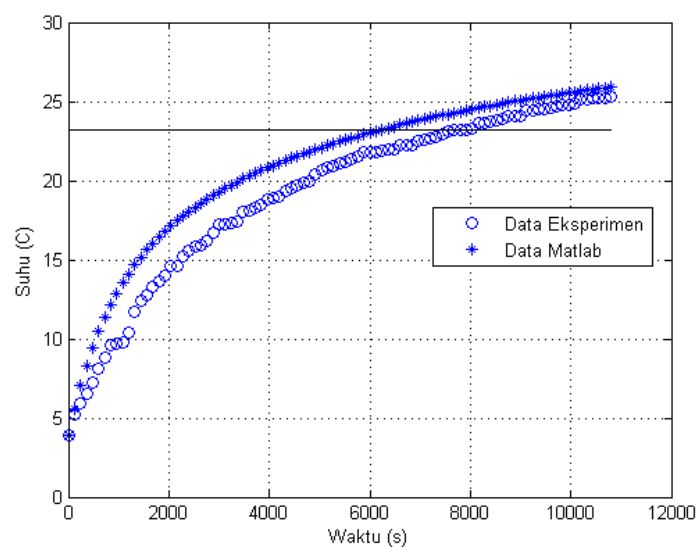


(c)

**Gambar 4.6** Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit.

Kemasan yang ketiga yaitu dengan bahan kaca. Pada simulasi botol kaca ukuran tinggi dan diameter silinder sama seperti ukuran kemasan kaca yaitu  $12 \times 6$  cm. Dengan kondisi suhu awal pada susu yaitu sebesar 3,9°C dan kemudian susu dibiarkan pada suhu lingkungan sebesar 30°C. Gambar 4.6 merupakan hasil persebaran panas konduksi silinder kemasan botol kaca dengan suhu lingkungan 30°C selama 60, 120, dan 180 menit. Sumbu x menunjukkan jumlah grid dari diameter kemasan sedangkan sumbu y menunjukkan jumlah grid dari tinggi kemasan. Simulasi pada kemasan bahan botol kaca juga dilakukan dengan variasi

terhadap suhu lingkungan yaitu sebesar  $27^{\circ}\text{C}$  dan  $33^{\circ}\text{C}$ . Susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu  $27^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit, kondisi temperatur dalam silinder susu pasteurisasi sebesar  $23,39^{\circ}\text{C}$ . Susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu  $30^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit, kondisi temperatur dalam silinder susu pasteurisasi sebesar  $25,90^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan susu pasteurisasi yang berada pada suhu lingkungan yaitu  $33^{\circ}\text{C}$  selama 180 menit, kondisi temperatur dalam silinder susu pasteurisasi sebesar  $28,48^{\circ}\text{C}$ . Dari hasil gambar dan pengukuran temperatur silinder, kemasan susu pasteurisasi dengan bahan kaca cenderung mengalami persebaran kalor yang lebih cepat dibandingkan dengan kemasan yang lainnya.



**Gambar 4.7** Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$ .

Gambar 4.7 merupakan grafik perbandingan temperatur silinder data eksperimen dan data simulasi matlab pada kemasan botol kaca dengan suhu lingkungan  $30^{\circ}\text{C}$ . Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa pada data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan kaca yang diletakkan pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  akan mengalami

penurunan kualitas pada waktu 128 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $24^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $30^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 104 menit. Grafik perbandingan temperatur silinder data eksperimen dan data simulasi matlab pada kemasan kaca dengan suhu lingkungan  $27^{\circ}\text{C}$  dan suhu lingkungan  $33^{\circ}\text{C}$  ditampilkan pada lampiran. Data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan kaca yang diletakkan pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 150 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $22^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 130 menit. Data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan kaca yang diletakkan pada suhu  $33^{\circ}\text{C}$  akan mengalami penurunan kualitas pada waktu 120 menit dengan kondisi susu pasteurisasi sebesar  $23,8^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pada data simulasi dengan menggunakan Matlab susu yang berada pada suhu  $33^{\circ}\text{C}$  akan mengalami perubahan kualitas pada waktu 78 menit. Berdasarkan nilai RMSE dan MAPE bahwa tingkat akurasi hasil simulasi Matlab dengan Eksperimen pada kemasan botol kaca cukup baik hal itu dapat dilihat dari tingkat kesalahan yang relative kecil yaitu rata-rata nilai RMSE dan MAPE kurang dari 20,71 dan 3,36.

#### **4.3 Hasil dan Pembahasan**

Distribusi pemasaran produk susu pasteurisasi tanpa pengawet maupun bahan tambahan pangan memang akan lebih sulit karena akan terjadinya penurunan kualitas produk. Distribusi yang dilakukan misalnya melalui transportasi darat, laut dan udara perlu didukung oleh suhu pengemasan produk. Distribusi merupakan proses pengiriman produk melalui transportasi darat, air, maupun udara yang

memerlukan waktu. Seiring dengan lamanya transportasi tentu akan mempengaruhi kualitas fisik maupun sensoris produk.

Suhu sebagai salah satu faktor lingkungan terpenting yang menentukan kinetika pembusukan fisik, kimiawi dan mikroba dalam produk makanan. Indikator suhu dan waktu dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang apakah suhu ambang batas telah terlampaui dari waktu ke waktu dan untuk memperkirakan jumlah minimum waktu yang dihabiskan suatu produk selama distribusi dan penyimpanan, sehingga dapat mengontrol suhu untuk produk dingin atau beku (Biji, dkk., 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran suhu pada susu pasteurisasi sehingga dapat menunjukkan kemasan botol yang baik digunakan untuk susu pasteurisasi serta untuk mengetahui estimasi waktu susu mengalami penurunan kualitas saat distribusi susu berlangsung dalam kondisi suhu lingkungan yang tinggi. Pada penelitian dilakukan enam kali percobaan dengan variasi suhu lingkungan dan kemasan dari susu pasteurisasi. Variasi kemasan susu pasteurisasi dilakukan pada kemasan botol PET, HDPE, dan kaca, sedangkan variasi suhu lingkungan pada kondisi 27°C, 30°C, dan 33°C. Untuk mengetahui persebaran panas dalam susu maka dilakukan simulasi menggunakan Matlab. Dari keenam percobaan diketahui bahwa sebaran panas konduksi yang dihasilkan berawal dari bagian bawah, kiri dan kanan. Panas dari atas diabaikan karena pada tutup botol menggunakan bahan yang berbeda dari kemasan, maka panas dari atas diabaikan atau dianggap tidak menghantarkan panas. Sesuai dengan teori perpindahan panas bahwa, energi dari partikel-partikel yang memiliki energi yang lebih besar berjalan menuju ke partikel-partikel yang memiliki energi yang lebih kecil.

Apabila ditinjau dari bahan kemasan botol, hasil simulasi dan eksperimen menunjukkan botol susu dengan bahan kaca merupakan bahan yang paling cepat melakukan perambatan panas. Sehingga bahan kemasan kaca kurang sesuai untuk kemasan susu pasteurisasi yang berada pada suhu kamar dalam jangka waktu lama. Jika dibandingkan dengan kemasan yang lainnya. Botol susu dengan bahan HDPE merupakan yang sesuai untuk susu pasteurisasi. Bahan kemasan HDPE mampu memperlambat perambatan panas. Semakin lama penyimpanan susu pasteurisasi pada suhu tinggi, maka semakin rendah kualitas susu pasteurisasi tersebut. Berdasarkan nilai fisik masing-masing bahan kemasan botol susu pasteurisasi pada Tabel 3.4 botol HDPE memiliki massa jenis yang rendah dan kalor jenis yang tinggi sehingga perpindahan panas pada susu kemasan HDPE cenderung lebih lambat daripada kemasan yang lain. Menurut Irdiati (2013) menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai konduktivitas termal dan massa jenis suatu bahan serta semakin rendah nilai kalor jenisnya, maka kemampuan perpindahan panas pada benda akan semakin cepat.

Waktu transportasi berpengaruh pada pengemasan, karena selama transportasi terjadi perubahan karena kondisi lingkungan. Menurut Restuccia, dkk. (2010), keaktifan pengemasan adalah untuk meningkatkan pengawetan makanan dalam memperpanjang umur simpan melibatkan penerapan berbagai strategi seperti kontrol suhu, penghilangan oksigen, kontrol kelembaban, penambahan bahan kimia seperti garam, gula, karbondioksida atau asam alami atau kombinasi ini dengan kemasan yang efektif. Pengaruh lamanya transportasi dapat berpengaruh terhadap penurunan kualitas pH. Pada penelitian ini parameter yang digunakan untuk mengetahui ketahanan susu pada kondisi suhu lingkungan yaitu dengan mengukur

pH. Susu yang telah mengalami perubahan kualitas terjadi karena susu pasteurisasi sudah mengalami perubahan pH, pada waktu tersebut susu telah berada pada batas maksimum dari pH susu pasteurisasi secara normal. Perubahan suhu pada susu juga akan mempengaruhi nilai pH susu, dimana hal tersebut akan menurunkan kualitas susu tersebut. Semakin lama susu berada di suhu lingkungan yang tinggi maka waktu penurunan kualitas susu akan semakin cepat.

#### 4.4 Integrasi Menurut Al-Qur'an dan Hadist

Susu adalah cairan berwarna putih, yang diperoleh dari pemerahan hewan seperti sapi, kerbau, kuda, kambing dan unta. Susu termasuk sebagai bahan pangan yang sehat dan bernilai gizi tinggi. Susu merupakan protein nabati, yang mempunyai kandungan asam amino esensial yang lengkap. Komposisi nutrisi dalam air susu meliputi air, protein, lemak, vitamin, mineral, dan laktosa (Resnawati, 2008).

Susu menjadi bahan pangan yang tersusun oleh zat-zat makanan dengan bagian yang seimbang. Dari sudut lainnya, susu dipandang sebagai bahan mentah, mengandung zat gizi yang penting dan mempunyai manfaat yang banyak bagi manusia, antara lain untuk pertumbuhan, pemelihara kesehatan, dan kecerdasan (Dawud, 2013). Susu merupakan salah satu sumber gizi yang baik bagi manusia.

Hal tersebut tertuang dalam Surah al-Mu'minin ayat 21 menjelaskan:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۚ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ

*Yang artinya adalah dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian daripadanya kamu makan (QS.Al-Mu'minin: 21).*



Menurut Tafsir Ringkas Kemenag RI dalam ayat diatas menjelaskan “dan disamping air serta kebun-kebun yang tumbuh dengannya, sesungguhnya pada hewan-hewan ternak terdapat suatu pelajaran bagimu. Kami juga memebriimu minum kamu dari air susu yang penuh nutrisi yang ada dalam perutnya, dan padanya, yakni untukmu, seperti daging, kulit, bulu dan tenangnya. Semua itu dapatkamu manfaatkan untuk berbagai tujuan. Sebagian darinya dapat kamu makan sebagai makanan yang lezat dan bergizi. Ayat tersebut menjelaskan bahwa susu mempunyai pelajaran bagi semua manusia, hewan ternak yang mempunyai manfaat berupa susu yang menjadi makanan bergizi bagi manusia dalam kehidupannya.

Susu juga merupakan bahan pangan yang sangat peka terhadap pencemaran, Ketika susu berada pada suhu kamar sehingga saat itulah susu mengalami penurunan kualitas. Susu akan mengalami kerusakan apabila berada disuhu kamar lebih dari 4 jam (Legowo,dkk., 2009). Pada hal tersebut susu telah mengalami peristiwa perpindahan panas atau perpindahan kalor. Perpindahan kalor adalah bentuk kalor yang dapat berpindah dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah. Perpindahan kalor pada susu dapat mengakibatkan penurunan kualitas dari susu tersebut sehingga susu tidak dapat dikonsumsi.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Uji eksperimental dan numerik persebaran suhu pada susu pasteurisasi dengan variasi kemasan telah dilakukan. Simulasi persebaran panas dilakukan dengan 3 variasi kemasan yaitu dengan kemasan PET, HDPE, dan kaca. Apabila ditinjau dari bahan kemasan botol, hasil simulasi persebaran suhu dan data eksperimen menunjukkan perpindahan panas pada botol susu bahan HDPE cenderung lebih lambat daripada kemasan yang lain dengan diameter 6 cm dan tinggi 12 cm, botol HDPE memiliki Densitas yang rendah ( $940 \text{ kg/m}^3$ ) dan kalor jenis yang tinggi ( $1900 \text{ J/Kg K}$ ) daripada kemasan yang lain sehingga perpindahan panas pada susu kemasan HDPE cenderung lebih lambat daripada kemasan yang lain.
2. Uji eksperimental dan numerik persebaran suhu pada susu pasteurisasi dengan variasi suhu lingkungan telah dilakukan. Simulasi persebaran panas dilakukan dengan 3 variasi suhu lingkungan  $27^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ , dan  $33^\circ\text{C}$ . Ketiga suhu tersebut disesuaikan dengan suhu lingkungan normal yang sesuai dengan iklim di Kota Malang.
3. Estimasi kualitas susu mengalami penurunan pada suhu  $30^\circ\text{C}$  pada setiap kemasan, sebagai berikut: data eksperimen susu pasteurisasi dengan kemasan PET akan mengalami penurunan kualitas pada menit 140, kemasan HDPE menit 162, dan kemasan kaca menit 128, sedangkan pada simulasi kualitas susu akan mengalami penurun dengan kemasan PET pada menit 130,

kemasan HDPE menit 142, dan kemasan kaca menit 104. Rata-rata susu pasteurisasi pada kondisi suhu lingkungan 30°C, dan 33°C mengalami penurunan kualitas kurang dari 180 menit.

## **5.2 Saran**

Adapun saran dari penelitian ini adalah masih terbuka untuk penelitian berikut yang berkaitan dengan persamaan panas dengan menggunakan persamaan panas yang digunakan. Penulis juga menyarankan untuk mencari solusi dari batasan masalah yaitu panas yang berasal dari bagian atas. Selain itu, Pada saat pengambilan data suhu ketika eksperimen sebaiknya dilakukan dengan tidak membuka dan menutup kemasan agar data yang didapatkan lebih akurat. Untuk penelitian selanjutnya juga dapat dilakukan dengan variasi suhu lingkungan yang lebih bervariasi dan kemasan susu pasteurisasi yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abbasnezhad, B., Hamdami, N., Monteau, J., & Vatankhah, H. (2016). Numerical modeling of heat transfer and pasteurizing value during thermal processing of intact egg. *Food Science & Nutrition*, 4(1), 42–49.  
<https://doi.org/10.1002/fsn3.257>
- Al-Qur'an dan terjemahan. 2004. Departemen Agama RI. Jakarta: J-ART.
- Ashrae, 2006, "ASHRAE Handbook of Refrigeration", American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers
- Biji, K. B., Ravishankar, C. N., Mohan, C. O., & Srinivasa Gopal, T. K. (2015). Smart packaging systems for food applications: a review. *Journal of Food Science & Technology*, 52(10), 6125–6135.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-015-1766-7>.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2011. SNI 3141.1:2011 tentang Susu Segar Bagian-1: Sapi. Jakarta (ID): BSN.
- Cahyaningtyas, A. A., Pudjiastuti, W., dan Ramdhan, I. 2016. Pengaruh Suhu Penyimpanan terhadap Organoleptik, Derajat Keasaman dan Pertumbuhan Bakteri Coliform pada Susu Pasteurisasi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 10(1), 13–23. <https://doi.org/10.26578/jrti.v10i1.1732>.
- Cengel, Y. A. 1998. *Heat Transfer : A Practical Approach*. Nevada : McGraw-HillInc.
- Cevoli, C., dan Fabbri, A. 2017. Heat transfer finite element model of fresh fruit salad insulating packages in non-refrigerated conditions. *Biosystems Engineering*, 153, 89–98.  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.11.002>.
- Chang, P.-C., Wang, Y.-W. & Liu, C.-H., 2007. The Development of a Weighted Evolving Fuzzy Neural Network for PCB Sales Forecasting. Elsevier, 32(Expert Systems with Applications), pp. 86-96.
- Crawford, R.J dan Martin, P.J. *Plastics Engineering: Fourth Edition*. Elsevier. 978-0-08-100709-9. (2020)
- Dawud Achroni. 2013. *Kiat Sukses Usaha Ternak Sapi Perah*. Yogyakarta: Trans Idea Skala Kecil
- Irdiati, J. 2013. *Simulasi Model Perpindahan Panas Pada Proses Sterilisasi pengalengan Ikan Tuna*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.

- Koestoer, Raldi A. 2002. *Perpindahan Kalor Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Kreith, F. 1997. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Legowo, A. M., dkk. 2009. *Teknologi Pengolahan Susu*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Marsh, K. and B. Bugusu. 2007. Food packaging – roles, materials, and environmental issues. *J. Food Sci.* 72(3): R39–R55.
- Murti, T.W. 2010. *Pasca Panen & Industri Susu*. Yogyakarta: Fakultas Peternakan Universitas Gadjah Mada
- Park, H.J., Y.J. Lee, M.R. Kim, and K.M. Kim. 2008. Safety of polyethylene terephthalate food containers evaluated by HPLC, migration test, and estimated daily intake. *J. Food Sci.* 73(6): T83–89.
- Rachman, Choirul. 2008. *Penanganan dan Pengolahan Susu*. Jakarta : Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian.
- Restuccia, D., Spizzirri, U. G., Parisi, O. I., Cirillo, G., Curcio, M., Iemma, F., & Picci, N. (2010). New EU regulation aspects & global market of active & intelligent packaging for food industry applications. *Food Control*, 21(11), 1425–1435. <https://doi.org/10.1016/J.Foodcont.2010.04.028>
- Resnawati, Heti. 2008. *Kualitas Susu pada Berbagai Pengolahan dan Penyimpanan*. Balai Penelitian Ternak: Bogor
- Ridwan Abdullah Sani. 2015. *Sains Berbasis Al- Qur'an*. Jakarta: Bumi Aksara
- Ros-Chumillas, M., Y. Belissario, A. Iquaz, and A. Lopez. 2007. Quality and shelf life of orange juice aseptically packaged in PET bottles. *J. Food Engin.* 79: 234–242.
- Saleh, E. 2004. *Teknologi Pengolahan Susu dan Hasil Ikutan Ternak*. Program Studi Produksi Ternak. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Sucipta, Nyoman, dkk. 2016. *Pengemasan Pangan Kajian Pengemasan yang Aman, Nyaman, Efektif dan Efisien*. Bali : Udaya University Press.
- Sulaiman, Ismail. 2015. *Perpindahan Kalor dan Massa*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Suparno, Paul. 2009. *Pengantar Termofisika*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.

- Sutrisno, Dwi A., dkk., 2015. Studi Stabilitas Mutu Susu Segar Selama Pengangkutan Menggunakan Suhu Rendah yang Layak Secara Teknis dan Finansial (Kajian Suhu dan Lama Waktu Pendinginan). *Jurnal Teknologi Pertanian*. Vol. 16 No. 3 : 207-212.
- Suwito,W. 2010. Bakteri yang Sering Mencemari susu: deteksi, Pathogenesis, epidemiologi, dan cara pengendalian. *Jurnal LitbangPertanian*. 29(3) : 96-100.
- Syarief, R., S. Santausa, dan S. Isyana. 1989. *Teknologi Pengemasan Pangan*. Bogor: Laboratorium Rekayasa Proses Pangan, Pusat Antaruniversitas Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor.
- Tafsir Ringkas Kemenag RI. TokopediaSalam.  
<https://www.tokopedia.com/s/quran/al-baqarah/ayat-168>. (Diakses Juni 1, 2021)
- Tafsir Ringkas Kemenag RI. TafsirWeb. <https://tafsirweb.com/5913-quran-surat-al-muminun-ayat-21.html> . (Diakses Juni 1, 2021)
- Usmiati S dan Abu Bakar. 2009. *Teknologi Pengolahan Susu*. Bogor : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Utomo B dan Miranti DP. 2010. *Tampilan Produksi Susu Sapi Perah Yang Mendapat Perbaikan Manajemen Pemeliharaan*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah. Caraka Tani XXV No. 1.
- Winarso D. 2008. *Hubungan Kualitas Susu Dengan Keragaman Genetik dan Prevalensi Mastitis Subklinis Di daerah Jalur Susu Malang Sampai Pasuruan*. J Sain ve. 26:58-65.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Data Hasil Penelitian

**Tabel 1.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan PET pada Suhu Lingkungan 27°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	4	4
2	120	5.8	5.5147
3	240	6.8	6.8353
4	360	7.4	7.9926
5	480	8.3	9.0118
6	600	9.1	9.9143
7	720	10.3	10.7176
8	840	11.3	11.4366
9	960	11.5	12.0839
10	1080	12.3	12.6699
11	1200	12.5	13.2036
12	1320	13.4	13.6922
13	1440	14.3	14.1419
14	1560	14.9	14.5577
15	1680	15.3	14.944
16	1800	15.7	15.3044
17	1920	16.1	15.6418
18	2040	16.7	15.9588
19	2160	17.3	16.2575
20	2280	17.5	16.5398
21	2400	17.9	16.8072
22	2520	18.4	17.0612
23	2640	18.6	17.3029
24	2760	18.8	17.5334
25	2880	19.3	17.7535
26	3000	19.5	17.9641
27	3120	19.6	18.1659
28	3240	19.9	18.3594
29	3360	20	18.5453
30	3480	20.2	18.7241



31	3600	20.3	18.8963
32	3720	20.7	19.0621
33	3840	20.8	19.2221
34	3960	20.9	19.3766
35	4080	21.4	19.5259
36	4200	21.4	19.6702
37	4320	21.8	19.8098
38	4440	22	19.945
39	4560	22	20.076
40	4680	22	20.203
41	4800	22.1	20.3262
42	4920	22.2	20.4458
43	5040	22.3	20.5619
44	5160	22.4	20.6747
45	5280	22.4	20.7844
46	5400	22.4	20.891
47	5520	22.6	20.9948
48	5640	22.6	21.0958
49	5760	22.7	21.1941
50	5880	22.8	21.2899
51	6000	22.8	21.3832
52	6120	22.9	21.4741
53	6240	23	21.5628
54	6360	23.1	21.6493
55	6480	23.1	21.7337
56	6600	23.1	21.8161
57	6720	23.1	21.8966
58	6840	23.1	21.9751
59	6960	23.2	22.0518
60	7080	23.2	22.1268
61	7200	23.3	22.2001
62	7320	23.3	22.2717
63	7440	23.3	22.3418
64	7560	23.3	22.4103
65	7680	23.3	22.4773
66	7800	23.4	22.5429
67	7920	23.4	22.6071
68	8040	23.4	22.6699
69	8160	23.5	22.7315

70	8280	23.5	22.7917
71	8400	23.6	22.8508
72	8520	23.7	22.9086
73	8640	23.7	22.9653
74	8760	23.7	23.0209
75	8880	23.7	23.0753
76	9000	23.8	23.1287
77	9120	23.9	23.1811
78	9240	23.9	23.2325
79	9360	23.9	23.2828
80	9480	23.9	23.3323
81	9600	24	23.3808
82	9720	24	23.4284
83	9840	24	23.4751
84	9960	24	23.521
85	10080	24	23.5661
86	10200	24	23.6103
87	10320	24.1	23.6538
88	10440	24.1	23.6965
89	10560	24.2	23.7384
90	10680	24.2	23.7796
91	10800	24.3	23.8201

**Tabel 2.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan PET pada Suhu Lingkungan 30°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	4	4
2	120	6.3	5.7123
3	240	7.4	7.2051
4	360	8.1	8.5133
5	480	8.8	9.6656
6	600	9.7	10.6857
7	720	10.3	11.5938
8	840	11.3	12.4066

9	960	11.8	13.1383
10	1080	12.3	13.8008
11	1200	12.9	14.4041
12	1320	13.7	14.9564
13	1440	14.1	15.4647
14	1560	14.5	15.9348
15	1680	15.1	16.3715
16	1800	15.9	16.7789
17	1920	16.2	17.1603
18	2040	16.6	17.5186
19	2160	17	17.8563
20	2280	17.3	18.1754
21	2400	17.7	18.4777
22	2520	17.9	18.7649
23	2640	18.6	19.0381
24	2760	19	19.2986
25	2880	19.2	19.5475
26	3000	19.2	19.7855
27	3120	19.4	20.0136
28	3240	19.5	20.2324
29	3360	20	20.4426
30	3480	20.1	20.6447
31	3600	20.3	20.8393
32	3720	20.5	21.0268
33	3840	20.6	21.2076
34	3960	20.8	21.3823
35	4080	20.9	21.551
36	4200	21.1	21.7141
37	4320	21.4	21.872
38	4440	21.4	22.0248
39	4560	21.6	22.1729
40	4680	21.8	22.3165
41	4800	21.9	22.4557
42	4920	22	22.5909
43	5040	22	22.7222
44	5160	22	22.8497
45	5280	22.1	22.9737
46	5400	22.2	23.0942
47	5520	22.3	23.2115

48	5640	22.4	23.3257
49	5760	22.6	23.4368
50	5880	22.6	23.5451
51	6000	22.7	23.6505
52	6120	22.8	23.7534
53	6240	22.8	23.8536
54	6360	22.9	23.9514
55	6480	23	24.0468
56	6600	23.1	24.14
57	6720	23.2	24.2309
58	6840	23.2	24.3197
59	6960	23.2	24.4064
60	7080	23.2	24.4912
61	7200	23.3	24.574
62	7320	23.5	24.655
63	7440	23.6	24.7342
64	7560	23.6	24.8116
65	7680	23.8	24.8874
66	7800	24	24.9615
67	7920	24.1	25.0341
68	8040	24.4	25.1051
69	8160	24.7	25.1747
70	8280	24.8	25.2428
71	8400	24.9	25.3096
72	8520	25	25.375
73	8640	25	25.439
74	8760	25	25.5018
75	8880	25.1	25.5634
76	9000	25.2	25.6238
77	9120	25.2	25.683
78	9240	25.2	25.741
79	9360	25.3	25.798
80	9480	25.4	25.8539
81	9600	25.4	25.9087
82	9720	25.6	25.9625
83	9840	25.7	26.0154
84	9960	25.8	26.0672
85	10080	25.9	26.1182
86	10200	26	26.1682

87	10320	26.1	26.2173
88	10440	26.2	26.2656
89	10560	26.2	26.313
90	10680	26.3	26.3596
91	10800	26.3	26.4053

**Tabel 3.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan PET pada Suhu Lingkungan 33°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	3.9	3.9
2	120	5	5.8164
3	240	6	7.4873
4	360	7.2	8.9515
5	480	8.6	10.2411
6	600	9	11.3828
7	720	10	12.3992
8	840	10.2	13.3089
9	960	11.2	14.1278
10	1080	12.5	14.8693
11	1200	13.1	15.5445
12	1320	13.7	16.1627
13	1440	14.1	16.7317
14	1560	15.3	17.2578
15	1680	15.9	17.7466
16	1800	16.1	18.2025
17	1920	16.7	18.6294
18	2040	17.2	19.0304
19	2160	17.5	19.4084
20	2280	18.2	19.7655
21	2400	18.3	20.1039
22	2520	18.7	20.4253
23	2640	18.9	20.7311
24	2760	19.2	21.0227
25	2880	19.3	21.3012

26	3000	19.6	21.5676
27	3120	20	21.8229
28	3240	20.8	22.0678
29	3360	21.2	22.303
30	3480	21.3	22.5292
31	3600	21.6	22.747
32	3720	21.9	22.9569
33	3840	22	23.1593
34	3960	22.1	23.3548
35	4080	22.2	23.5436
36	4200	22.4	23.7262
37	4320	22.4	23.9028
38	4440	22.5	24.0739
39	4560	22.5	24.2397
40	4680	22.6	24.4003
41	4800	22.7	24.5562
42	4920	23.1	24.7075
43	5040	23.1	24.8544
44	5160	23.1	24.9972
45	5280	23.1	25.1359
46	5400	23.4	25.2708
47	5520	23.4	25.4021
48	5640	23.6	25.5299
49	5760	24	25.6543
50	5880	24.1	25.7754
51	6000	24.4	25.8935
52	6120	24.4	26.0086
53	6240	24.7	26.1208
54	6360	25	26.2302
55	6480	25	26.337
56	6600	25.6	26.4413
57	6720	25.6	26.543
58	6840	25.6	26.6424
59	6960	25.7	26.7395
60	7080	25.8	26.8343
61	7200	25.9	26.9271
62	7320	26	27.0177
63	7440	26.1	27.1063
64	7560	26.2	27.193

65	7680	26.2	27.2778
66	7800	26.3	27.3608
67	7920	26.4	27.442
68	8040	26.8	27.5215
69	8160	26.9	27.5994
70	8280	26.9	27.6756
71	8400	27.1	27.7503
72	8520	27.1	27.8235
73	8640	27.2	27.8952
74	8760	27.2	27.9655
75	8880	27.3	28.0344
76	9000	27.4	28.102
77	9120	27.4	28.1682
78	9240	27.6	28.2332
79	9360	27.7	28.297
80	9480	27.8	28.3595
81	9600	27.8	28.4209
82	9720	28	28.4812
83	9840	28.1	28.5403
84	9960	28.2	28.5983
85	10080	28.2	28.6553
86	10200	28.3	28.7113
87	10320	28.3	28.7663
88	10440	28.3	28.8203
89	10560	28.4	28.8734
90	10680	28.4	28.9255
91	10800	28.5	28.9767

**Tabel 4.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan HDPE pada Suhu Lingkungan 27°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	4	4
2	120	5.4	5.3658
3	240	6.5	6.5733

4	360	7.2	7.6452
5	480	8	8.6006
6	600	8.3	9.4557
7	720	8.7	10.2238
8	840	9.3	10.9166
9	960	9.9	11.5437
10	1080	10.7	12.1135
11	1200	11.6	12.633
12	1320	11.9	13.1083
13	1440	12.2	13.5447
14	1560	12.8	13.9466
15	1680	13.3	14.3179
16	1800	13.8	14.6619
17	1920	14.3	14.9817
18	2040	14.8	15.2798
19	2160	14.9	15.5584
20	2280	15.1	15.8195
21	2400	15.3	16.0648
22	2520	15.7	16.2959
23	2640	16.1	16.5141
24	2760	16.3	16.7206
25	2880	16.7	16.9165
26	3000	16.8	17.1027
27	3120	17.7	17.2801
28	3240	17.8	17.4494
29	3360	17.9	17.6113
30	3480	17.9	17.7664
31	3600	18.1	17.9152
32	3720	18.3	18.0582
33	3840	18.4	18.1959
34	3960	18.6	18.3286
35	4080	18.8	18.4567
36	4200	18.9	18.5804
37	4320	19.3	18.7002
38	4440	19.3	18.8162
39	4560	19.4	18.9287
40	4680	19.5	19.038
41	4800	19.6	19.1441
42	4920	19.8	19.2473



43	5040	19.9	19.3478
44	5160	20.1	19.4456
45	5280	20.2	19.541
46	5400	20.4	19.634
47	5520	20.5	19.7249
48	5640	20.6	19.8136
49	5760	20.6	19.9002
50	5880	20.7	19.985
51	6000	21	20.0679
52	6120	21.1	20.149
53	6240	21.1	20.2285
54	6360	21.3	20.3063
55	6480	21.3	20.3826
56	6600	21.5	20.4573
57	6720	21.7	20.5306
58	6840	21.7	20.6025
59	6960	21.8	20.6731
60	7080	21.9	20.7424
61	7200	21.9	20.8104
62	7320	21.9	20.8772
63	7440	22	20.9428
64	7560	22	21.0073
65	7680	22.1	21.0706
66	7800	22.2	21.1329
67	7920	22.3	21.1942
68	8040	22.3	21.2544
69	8160	22.4	21.3137
70	8280	22.5	21.372
71	8400	22.5	21.4293
72	8520	22.5	21.4858
73	8640	22.6	21.5413
74	8760	22.7	21.596
75	8880	22.7	21.6499
76	9000	22.8	21.7029
77	9120	22.9	21.7552
78	9240	22.9	21.8066
79	9360	22.9	21.8573
80	9480	22.9	21.9072
81	9600	22.9	21.9565

82	9720	23	22.005
83	9840	23	22.0528
84	9960	23.1	22.0999
85	10080	23.3	22.1464
86	10200	23.3	22.1922
87	10320	23.3	22.2373
88	10440	23.3	22.2819
89	10560	23.3	22.3258
90	10680	23.5	22.3691
91	10800	23.6	22.4118

**Tabel 5.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan HDPE pada Suhu Lingkungan 30°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	4.3	4.3
2	120	5.26	5.8261
3	240	6.4	7.1753
4	360	7.4	8.3731
5	480	8.3	9.4407
6	600	9.2	10.3961
7	720	9.5	11.2544
8	840	10.2	12.0285
9	960	10.7	12.7293
10	1080	10.9	13.3659
11	1200	11	13.9465
12	1320	11.2	14.4776
13	1440	11.8	14.9652
14	1560	12.2	15.4142
15	1680	13.2	15.8291
16	1800	13.5	16.2135
17	1920	14	16.5709
18	2040	14.2	16.9039
19	2160	15.1	17.2152
20	2280	15.2	17.507

21	2400	15.7	17.7811
22	2520	16.1	18.0393
23	2640	16.1	18.2831
24	2760	16.5	18.5139
25	2880	17	18.7328
26	3000	17.8	18.9409
27	3120	17.8	19.1391
28	3240	18.2	19.3283
29	3360	18.6	19.5092
30	3480	18.9	19.6825
31	3600	19.2	19.8487
32	3720	19.5	20.0085
33	3840	19.5	20.1624
34	3960	19.6	20.3106
35	4080	19.9	20.4537
36	4200	20.1	20.592
37	4320	20.3	20.7259
38	4440	20.3	20.8555
39	4560	20.4	20.9813
40	4680	20.5	21.1033
41	4800	20.6	21.2219
42	4920	20.9	21.3372
43	5040	21	21.4495
44	5160	21.1	21.5588
45	5280	21.1	21.6654
46	5400	21.3	21.7693
47	5520	21.5	21.8708
48	5640	21.5	21.9699
49	5760	21.6	22.0668
50	5880	21.8	22.1615
51	6000	21.8	22.2541
52	6120	21.9	22.3448
53	6240	22	22.4336
54	6360	22	22.5205
55	6480	22.1	22.6057
56	6600	22.1	22.6893
57	6720	22.3	22.7712
58	6840	22.4	22.8515
59	6960	22.4	22.9304

60	7080	22.5	23.0078
61	7200	22.5	23.0838
62	7320	22.7	23.1584
63	7440	22.7	23.2317
64	7560	22.7	23.3038
65	7680	22.9	23.3746
66	7800	23	23.4442
67	7920	23	23.5126
68	8040	23	23.5799
69	8160	23.1	23.6461
70	8280	23.2	23.7113
71	8400	23.2	23.7754
72	8520	23.2	23.8384
73	8640	23.3	23.9005
74	8760	23.3	23.9616
75	8880	23.3	24.0218
76	9000	23.5	24.0811
77	9120	23.5	24.1395
78	9240	23.6	24.197
79	9360	23.6	24.2536
80	9480	23.8	24.3094
81	9600	23.8	24.3644
82	9720	23.8	24.4186
83	9840	23.9	24.472
84	9960	23.9	24.5247
85	10080	23.9	24.5766
86	10200	24	24.6278
87	10320	24.1	24.6782
88	10440	24.1	24.728
89	10560	24.2	24.7771
90	10680	24.3	24.8255
91	10800	24.3	24.8732

**Tabel 6.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan HDPE pada Suhu Lingkungan 33°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	3.9	3.9
2	120	4.6	4.2632
3	240	5.7	5.628
4	360	6.5	7.1557
5	480	7.5	8.512
6	600	8.4	9.7208
7	720	9.2	10.8026
8	840	10	11.7745
9	960	10.4	12.651
10	1080	10.9	13.4444
11	1200	11.6	14.1653
12	1320	11.9	14.8226
13	1440	12.3	15.424
14	1560	12.4	15.9761
15	1680	12.8	16.4846
16	1800	13.4	16.9543
17	1920	13.7	17.3896
18	2040	14	17.7942
19	2160	14.3	18.1714
20	2280	15	18.5238
21	2400	15.4	18.8542
22	2520	16.1	19.1646
23	2640	16.4	19.457
24	2760	16.7	19.733
25	2880	17	19.9943
26	3000	17.5	20.2422
27	3120	17.8	20.4778
28	3240	18.2	20.7023
29	3360	18.7	20.9165
30	3480	18.9	21.1213
31	3600	19.3	21.5058
32	3720	19.7	21.6867

33	3840	20.2	21.8609
34	3960	20.4	22.0288
35	4080	20.5	22.1908
36	4200	20.6	22.3474
37	4320	20.7	22.499
38	4440	20.8	22.6458
39	4560	20.9	22.7881
40	4680	21	22.9263
41	4800	21.2	23.0606
42	4920	21.4	23.1912
43	5040	21.6	23.3183
44	5160	21.6	23.4421
45	5280	22	23.5627
46	5400	22.3	23.6805
47	5520	22.3	23.7954
48	5640	22.4	23.9076
49	5760	22.6	24.0173
50	5880	22.6	24.1245
51	6000	22.6	24.2294
52	6120	22.6	24.332
53	6240	22.7	24.4325
54	6360	22.9	24.531
55	6480	23.2	24.6275
56	6600	23.2	24.7221
57	6720	23.2	24.8148
58	6840	23.5	24.9058
59	6960	23.6	24.9951
60	7080	23.6	25.0827
61	7200	23.6	25.1688
62	7320	23.8	25.2533
63	7440	23.9	25.3363
64	7560	23.9	25.4179
65	7680	24	25.4981
66	7800	24	25.5769
67	7920	24.1	25.6544
68	8040	24.1	25.7306
69	8160	24.2	25.8055
70	8280	24.2	25.8793
71	8400	24.3	25.9519

72	8520	24.4	26.0233
73	8640	24.4	26.0936
74	8760	24.5	26.1628
75	8880	24.6	26.2309
76	9000	24.6	26.298
77	9120	24.8	26.3641
78	9240	24.8	26.4292
79	9360	25.1	26.4934
80	9480	25.1	26.5566
81	9600	25.3	26.6188
82	9720	25.3	26.6802
83	9840	25.6	26.7407
84	9960	25.8	26.8003
85	10080	25.9	26.8591
86	10200	26	26.917
87	10320	26	26.9742
88	10440	26.1	27.0305
89	10560	26.1	27.0861
90	10680	26.2	27.1409
91	10800	26.3	27.195

**Tabel 7.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan Kaca pada Suhu Lingkungan 27°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	4	4
2	120	5.4	5.4652
3	240	5.9	6.7487
4	360	6.3	7.8782
5	480	6.9	8.877
6	600	7.4	9.7642
7	720	8	10.5559
8	840	8.5	11.2656
9	960	8.9	11.9045
10	1080	9.4	12.4824

11	1200	9.8	13.0072
12	1320	10.3	13.486
13	1440	10.9	13.9247
14	1560	11.4	14.3284
15	1680	11.9	14.7013
16	1800	12	15.0474
17	1920	12.5	15.3697
18	2040	12.9	15.671
19	2160	13	15.9538
20	2280	13.4	16.2201
21	2400	13.8	16.4716
22	2520	14	16.7099
23	2640	14.4	16.9363
24	2760	14.9	17.1519
25	2880	15	17.3578
26	3000	15.2	17.5548
27	3120	15.4	17.7437
28	3240	15.7	17.9251
29	3360	16	18.0997
30	3480	16.3	18.2679
31	3600	16.4	18.4301
32	3720	16.6	18.5869
33	3840	16.9	18.7386
34	3960	17.1	18.8854
35	4080	17.5	19.0278
36	4200	17.6	19.1658
37	4320	17.8	19.2998
38	4440	18.1	19.4301
39	4560	18.3	19.5566
40	4680	18.4	19.6798
41	4800	18.5	19.7997
42	4920	18.8	19.9164
43	5040	18.9	20.0302
44	5160	19.1	20.1411
45	5280	19.2	20.2492
46	5400	19.4	20.3547
47	5520	19.5	20.4577
48	5640	19.6	20.5583
49	5760	19.8	20.6565



50	5880	19.9	20.7525
51	6000	20	20.8462
52	6120	20.1	20.9379
53	6240	20.2	21.0276
54	6360	20.2	21.1153
55	6480	20.4	21.2011
56	6600	20.4	21.285
57	6720	20.4	21.3672
58	6840	20.6	21.4477
59	6960	20.8	21.5264
60	7080	20.8	21.6036
61	7200	20.8	21.6792
62	7320	20.9	21.7533
63	7440	21.1	21.8259
64	7560	21.1	21.8971
65	7680	21.1	21.9668
66	7800	21.1	22.0352
67	7920	21.3	22.1023
68	8040	21.4	22.1681
69	8160	21.5	22.2327
70	8280	21.5	22.296
71	8400	21.5	22.3582
72	8520	21.6	22.4192
73	8640	21.7	22.4791
74	8760	21.8	22.5379
75	8880	21.9	22.5956
76	9000	22	22.6523
77	9120	22	22.708
78	9240	22.1	22.7627
79	9360	22.2	22.8164
80	9480	22.3	22.8692
81	9600	22.4	22.9211
82	9720	22.6	22.9721
83	9840	22.6	23.0222
84	9960	22.8	23.0715
85	10080	22.8	23.1199
86	10200	22.9	23.1675
87	10320	22.9	23.2144
88	10440	23	23.2604

89	10560	23.1	23.3057
90	10680	23.1	23.3503
91	10800	23.3	23.3941

**Tabel 8.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan Kaca pada Suhu Lingkungan 30°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	3.9	3.9
2	120	5.2	5.5627
3	240	5.9	7.0192
4	360	6.5	8.3009
5	480	7.2	9.4343
6	600	8.1	10.4411
7	720	8.8	11.3395
8	840	9.6	12.1448
9	960	9.7	12.8699
10	1080	9.8	13.5256
11	1200	10.4	14.1212
12	1320	11.7	14.6646
13	1440	12.4	15.1624
14	1560	12.8	15.6204
15	1680	13.3	16.0437
16	1800	13.6	16.4363
17	1920	14	16.8021
18	2040	14.6	17.1441
19	2160	14.6	17.465
20	2280	15.2	17.7671
21	2400	15.6	18.0525
22	2520	15.8	18.3229
23	2640	15.9	18.5799
24	2760	16.2	18.8246
25	2880	16.7	19.0582
26	3000	17.2	19.2818
27	3120	17.2	19.4961

28	3240	17.3	19.702
29	3360	17.4	19.9
30	3480	18	20.0909
31	3600	18.1	20.2751
32	3720	18.3	20.453
33	3840	18.5	20.6251
34	3960	18.8	20.7917
35	4080	18.9	20.9532
36	4200	19	21.1099
37	4320	19.3	21.262
38	4440	19.5	21.4098
39	4560	19.7	21.5534
40	4680	19.9	21.6932
41	4800	20	21.8292
42	4920	20.4	21.9617
43	5040	20.7	22.0908
44	5160	20.8	22.2166
45	5280	20.9	22.3393
46	5400	21.1	22.4591
47	5520	21.2	22.5759
48	5640	21.4	22.6901
49	5760	21.5	22.8015
50	5880	21.8	22.9104
51	6000	21.8	23.0168
52	6120	21.8	23.1209
53	6240	21.9	23.2226
54	6360	22	23.3221
55	6480	22	23.4195
56	6600	22.2	23.5147
57	6720	22.2	23.608
58	6840	22.2	23.6993
59	6960	22.5	23.7887
60	7080	22.6	23.8763
61	7200	22.7	23.9621
62	7320	22.8	24.0461
63	7440	22.9	24.1285
64	7560	23.1	24.2093
65	7680	23.2	24.2884
66	7800	23.2	24.3661

67	7920	23.2	24.4422
68	8040	23.3	24.5169
69	8160	23.6	24.5901
70	8280	23.6	24.662
71	8400	23.7	24.7326
72	8520	23.8	24.8018
73	8640	23.9	24.8697
74	8760	24.1	24.9365
75	8880	24.1	25.002
76	9000	24.1	25.0663
77	9120	24.4	25.1295
78	9240	24.4	25.1916
79	9360	24.5	25.2526
80	9480	24.5	25.3125
81	9600	24.6	25.3713
82	9720	24.7	25.4292
83	9840	24.8	25.4861
84	9960	24.8	25.542
85	10080	24.9	25.597
86	10200	25.1	25.651
87	10320	25.1	25.7041
88	10440	25.2	25.7564
89	10560	25.2	25.8078
90	10680	25.2	25.8584
91	10800	25.3	25.9081

**Tabel 9.** Data Pengukuran Suhu Susu dengan Kemasan Kaca pada Suhu Lingkungan 33°C

No.	Waktu pengukuran (s)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Ekperimen (°C)	Temperatur susu setelah pengukuran dengan Simulasi Matlab (°C)
1	0	4.2	4.2
2	120	4.7	6.0347
3	240	5	7.6418
4	360	5.3	9.0562
5	480	6.5	10.3068

6	600	7	11.4177
7	720	7.5	12.4091
8	840	7.7	13.2977
9	960	8.8	14.0978
10	1080	9.6	14.8214
11	1200	10	15.4786
12	1320	10.4	16.0781
13	1440	10.8	16.6275
14	1560	11.7	17.1329
15	1680	12.4	17.5999
16	1800	13.3	18.0332
17	1920	13.6	18.4368
18	2040	14.2	18.8142
19	2160	14.5	19.1683
20	2280	14.7	19.5017
21	2400	15.2	19.8166
22	2520	15.4	20.115
23	2640	15.7	20.3985
24	2760	16	20.6685
25	2880	16.2	20.9263
26	3000	16.7	21.173
27	3120	17.3	21.4095
28	3240	17.6	21.6367
29	3360	18	21.8552
30	3480	18.4	22.0658
31	3600	18.9	22.269
32	3720	19	22.4654
33	3840	19.1	22.6553
34	3960	19.6	22.8392
35	4080	19.8	23.0174
36	4200	20.3	23.1902
37	4320	20.3	23.3581
38	4440	20.5	23.5211
39	4560	20.6	23.6796
40	4680	20.8	23.8338
41	4800	20.9	23.9839
42	4920	20.9	24.1301
43	5040	21	24.2726
44	5160	21.1	24.4114

45	5280	21.2	24.5469
46	5400	21.3	24.679
47	5520	21.7	24.8079
48	5640	21.9	24.9339
49	5760	22.1	25.0568
50	5880	22.3	25.177
51	6000	22.4	25.2944
52	6120	22.6	25.4092
53	6240	22.7	25.5215
54	6360	22.8	25.6313
55	6480	23	25.7387
56	6600	23.2	25.8438
57	6720	23.2	25.9467
58	6840	23.4	26.0475
59	6960	23.6	26.1462
60	7080	23.7	26.2428
61	7200	23.8	26.3375
62	7320	23.9	26.4302
63	7440	24	26.5211
64	7560	24.2	26.6102
65	7680	24.5	26.6976
66	7800	24.5	26.7832
67	7920	24.7	26.8673
68	8040	24.7	26.9497
69	8160	24.9	27.0305
70	8280	25	27.1098
71	8400	25.1	27.1876
72	8520	25.2	27.264
73	8640	25.3	27.339
74	8760	25.3	27.4127
75	8880	25.4	27.4849
76	9000	25.5	27.5559
77	9120	25.6	27.6257
78	9240	25.6	27.6942
79	9360	25.8	27.7614
80	9480	25.9	27.8276
81	9600	26	27.8925
82	9720	26	27.9564
83	9840	26.1	28.0191

84	9960	26.2	28.0808
85	10080	26.4	28.1415
86	10200	26.5	28.2011
87	10320	26.6	28.2597
88	10440	26.7	28.3174
89	10560	26.8	28.3741
90	10680	26.8	28.4299
91	10800	27	28.4848

**Tabel 10.** Data pH Susu dengan Eksperimen pada Kemasan PET

No.	Waktu Pengukuran (Menit)	pH		
		Suhu Lingkungan 27°C	Suhu Lingkungan 30°C	Suhu Lingkungan 33°C
1.	0	6.8	6.8	6,8
2.	20	6.7	6.7	6,8
3.	40	6.7	6.7	6,7
4.	60	6.7	6.7	6.7
5.	70	6.7	6.6	6.6
6.	80	6.7	6.6	6.6
7.	90	6.7	6.6	6.6
8.	100	6.6	6.6	6.6
9.	120	6.6	6.6	6.5
10.	130	6.6	6.6	6.5
11.	140	6.6	6.5	6.5
12.	150	6.6	6.5	6.5
13.	160	6.5	6.4	6.5
14.	170	6.5	6.4	6.4
15.	180	6.5	6.4	6.4

**Tabel 11.** Data pH Susu dengan Eksperimen pada Kemasan HDPE

No.	Waktu Pengukuran (menit)	pH		
		Suhu Lingkungan 27°C	Suhu Lingkungan 30°C	Suhu Lingkungan 33°C
1.	0	6.8	6.8	6,8
2.	20	6.8	6.8	6,7
3.	50	6.7	6.7	6,7
4.	60	6.7	6.6	6.6
5.	70	6.7	6.6	6.6
6.	80	6.7	6.6	6.6
7.	90	6.6	6.6	6.6

8.	100	6.6	6.6	6.6
9.	120	6.6	6.6	6.6
10.	130	6.6	6.6	6.5
11.	140	6.6	6.6	6.5
12.	150	6.6	6.6	6.5
13.	160	6.6	6.5	6.5
14.	170	6.6	6.5	6.5
15.	180	6.5	6.4	6.5

**Tabel 12.** Data pH Susu dengan Eksperimen pada Kemasan Kaca

No.	Waktu Pengukuran (Menit)	pH		
		Suhu Lingkungan 27°C	Suhu Lingkungan 30°C	Suhu Lingkungan 33°C
1.	0	6.8	6.8	6,8
2.	20	6.8	6.8	6,7
3.	50	6.7	6.7	6,7
4.	60	6.7	6.7	6.7
5.	70	6.7	6.7	6.7
6.	80	6.7	6.7	6.7
7.	90	6.7	6.6	6.6
8.	100	6.7	6.6	6.6
9.	120	6.6	6.6	6.5
10.	130	6.6	6.5	6.5
11.	140	6.6	6.5	6.5
12.	150	6.5	6.5	6.5
13.	160	6.5	6.5	6.4
14.	170	6.5	6.5	6.4
15.	180	6.5	6.5	6.4

## Lampiran 2 Nilai Hasil RMSE dan MAPE

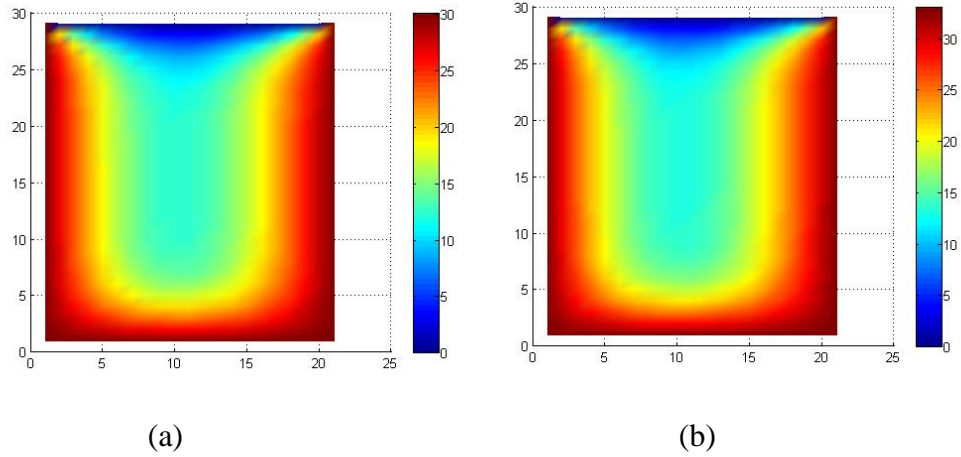
**Tabel 13.** Nilai RMSE dan MAPE Data Ekperimen dan Data Simulasi Matlab

Bahan Kemasan	Temperatur Lingkungan	Nilai MAPE	Nilai RMSE
PET	27°C	1,1249	4,9415
	30°C	0,8136	4,0171
	33°C	1,4863	7,6697
HDPE	27°C	0,9009	4,7432
	30°C	1,2549	6,5573
	33°C	2,006	10,5259
Kaca	27°C	1,6459	10,0748
	30°C	1,8092	10,4869

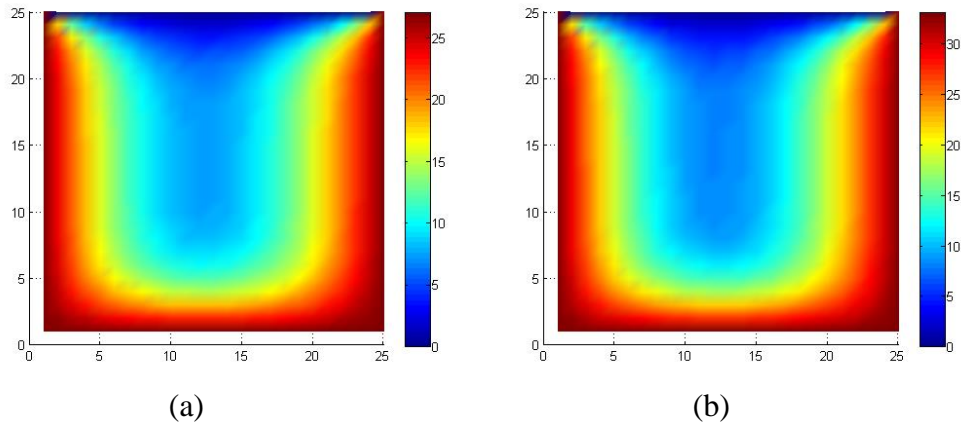


	33°C	3,3631	20,7136
--	------	--------	---------

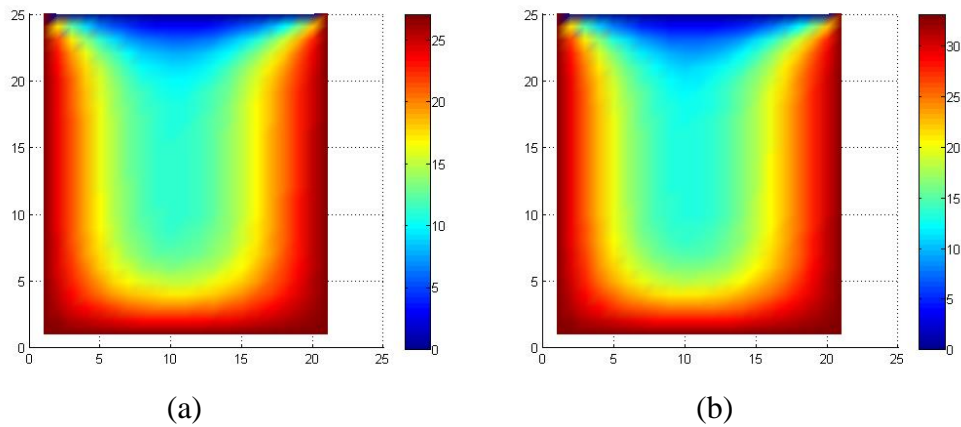
### Lampiran 3. Gambar Persebaran Panas pada Simulasi Matlab



**Gambar 1.** (a) Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan 27°C, (b) Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan 33°C.

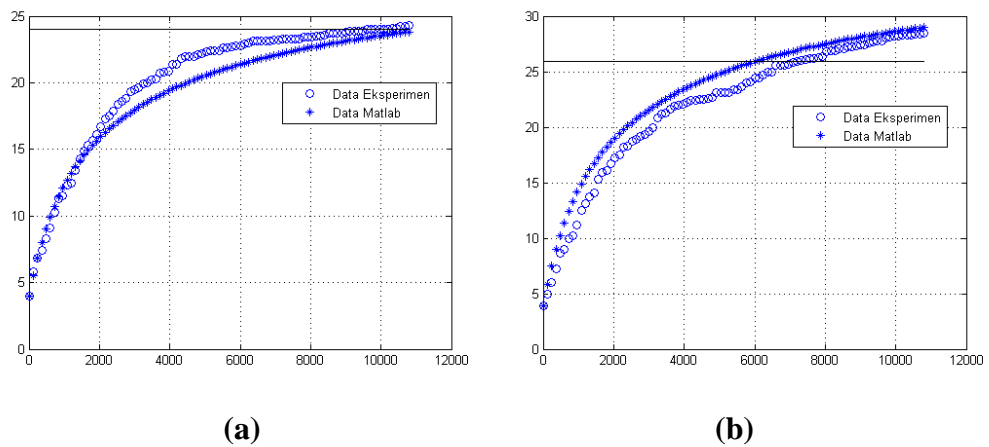


**Gambar 2.** (a) Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 27°C, (b) Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 33°C.

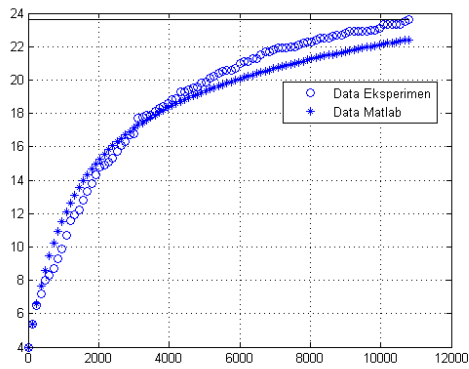


**Gambar 3.** (a) Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan 27°C, (b) Sebaran Panas Konduksi Silinder pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan 33°C.

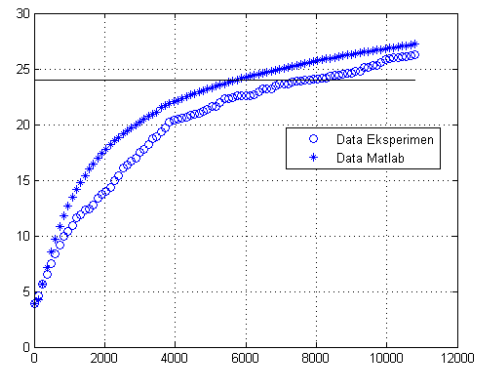
#### Lampiran 4. Grafik Perbandingan Temperatur Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab



**Gambar 4.** (a) Grafik Perbandingan Temperatur Pusat Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan 27°C, (b) Grafik Perbandingan Temperatur Pusat Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol PET dengan Suhu lingkungan 33°C.

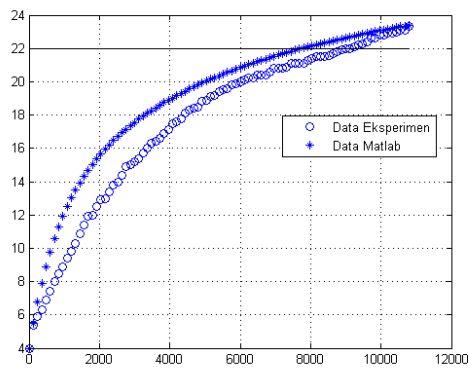


(a)

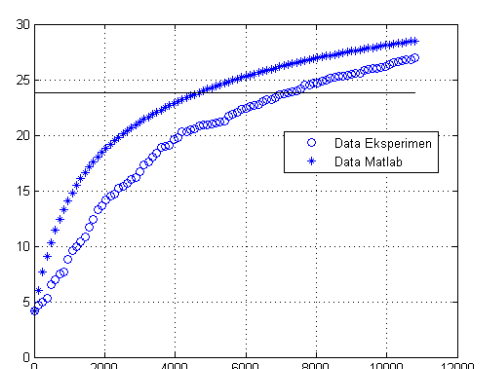


(b)

**Gambar 5.** (a) Grafik Perbandingan Temperatur Pusat Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 27°C, (b) Grafik Perbandingan Temperatur Pusat Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol HDPE dengan Suhu lingkungan 33°C.



(a)



(b)

**Gambar 6.** (a) Grafik Perbandingan Temperatur Pusat Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan 27°C, (b) Grafik Perbandingan Temperatur Pusat Silinder Data Eksperimen dan Data Simulasi Matlab pada Kemasan Botol Kaca dengan Suhu lingkungan 33°C.



KEMENTERIAN AGAMA RI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)  
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
JURUSAN FISIKA

Gedung B.J.J. Habibie Lt. 2 Fak. Saintek Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Ainina Farah Fauziah  
NIM : 16640058  
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika  
Judul Skripsi : Simulasi Waktu Maksimum Distribusi Susu dengan Analisis Perpindahan Panas *Finite Difference Method*  
Pembimbing I : Farid Samsu Hananto, M.T  
Pembimbing II : Drs. Abdul Basid, M.Si

No.	Hari/Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	Senin/03 Februari 2020	Konsultasi Judul	
2	Selasa/25 Februari 2020	Konsultasi BAB I	
3	Senin/09 Maret 2020	Konsultasi Revisi BAB I	
4	Rabu/11 Maret 2020	Konsultasi BAB II	
5	Senin/23 Mei 2020	Konsultasi BAB III	
6	Senin/31 April 2020	ACC Proposal Skripsi	
7	Senin/05 Oktober 2020	Konsultasi Data Hasil	
8	Selasa/17 November 2020	Konsultasi BAB IV	
9	Selasa/02 Februari 2021	Konsultasi Revisi BAB IV	
10	Senin/04 Mei 2021	Konsultasi Kajian Agama	
11	Kamis/08 April 2021	Konsultasi BAB I-BAB IV	
12	Selasa/09 Juni 2021	Konsultasi BAB I-BAB IV dan ACC	

Malang, 10 Juni 2021  
Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Drs. Abdul Basid, M.Si  
19650504 199003 1 003

